



**Universität  
Zürich** <sup>UZH</sup>

Geographisches Institut

# **Abschätzung von Hochwasservolumina in der Schweiz: Methodenerhebung in der Praxis**

GEO 511 Masterarbeit

**Eingereicht durch:**

Stefanie Wermelinger

Matrikelnummer: 11-714-284

**Betreut durch:**

Brunner, Manuela

Dr. Côte, Muriel

Dr. Viviroli, Daniel

**Fakultätsvertretung**

Prof. Dr. Seibert, Jan

29. September 2017

Geographisches Institut, Universität Zürich

## Inhalt

<b>Abbildungen und Tabellen.....</b>	<b>III</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Forschungsfragen .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Wissenschaftlicher Hintergrund .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Hintergrund der Hochwasserabschätzung .....</b>	<b>5</b>
3.1.1. Entwicklung des Hochwasserschutzes in der Schweiz .....	5
3.1.2. Generelles zur Hochwasserabschätzung .....	6
3.1.3. Einfluss der Einzugsgebietsgrösse .....	7
<b>3.2. Verschiedene Hochwasserabschätzungsmethoden in der Übersicht.....</b>	<b>7</b>
3.2.1. Extremwertstatistische Methoden .....	8
3.2.2. Niederschlag-Abfluss-Modelle .....	10
3.2.3. Regionalisierung .....	11
3.2.4. Verfahren in kleinen Einzugsgebieten (<10 km <sup>2</sup> ) .....	11
3.2.5. Verfahren in mittelgrossen Einzugsgebieten (10-500 km <sup>2</sup> ) .....	12
<b>3.3. Bivariate Methode .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Empirische Methodik .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Wahl der empirischen Forschungsmethode .....</b>	<b>17</b>
4.1.1. Stichprobenauswahl.....	17
4.1.2. Grundgesamtheit .....	18
4.1.3. Screening.....	19
4.1.4. Repräsentativität der Stichprobe.....	19
4.1.5. Stichprobengrösse.....	20
<b>4.2. Online-Umfrage .....</b>	<b>22</b>
4.2.1. Vor- und Nachteile.....	22
4.2.2. Tool „Umfrage online“ .....	23
4.2.3. Verschiedene Fragetypen in der Umfrage .....	24
4.2.4. Pretest.....	27
4.2.5. Kontakte.....	29
<b>4.3. Experteninterviews .....</b>	<b>29</b>
4.3.1. Auswahlkriterien .....	29
4.3.2. Vorbereitung.....	31
<b>5. Resultate und Diskussion .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1. Online-Umfrage .....</b>	<b>32</b>
5.1.1. Teilnehmerzahl.....	32
5.1.2. Auswertung der Fragen .....	33
<b>5.2. Resultate der Experteninterviews .....</b>	<b>64</b>
<b>6. Beantwortung der Forschungsfragen.....</b>	<b>70</b>

<b>6.1. Erste Forschungsfrage: Welche Hochwasserabschätzungsmethoden werden zur Zeit in den Schweizer Ingenieurbüros verwendet?.....</b>	<b>70</b>
<b>6.2. Zweite Forschungsfrage: Wer sind die potentiellen Anwender einer bivariaten Hochwasserabschätzungsmethode? .....</b>	<b>72</b>
<b>6.3. Dritte Forschungsfrage: Entspricht eine bivariate Methode den Bedürfnissen der potentiellen Anwender und bringt sie in der Praxis Verbesserungen? .....</b>	<b>74</b>
<b>7. Fazit .....</b>	<b>78</b>
<b>8. Verdankung .....</b>	<b>80</b>
<b>9. Literatur.....</b>	<b>81</b>
<b>10. Anhang.....</b>	<b>83</b>

## Abbildungen und Tabellen

Abb. 1: Hochwasser der Aare in Bern, 2005 (BAFU, 2016, S.53).....	1
Abb. 2: Übersicht über die verschiedenen Hochwasserabschätzungsmethoden (nach: Spreafico u. a., 2003, S.10).....	8
Abb. 3: Hydrograph mit Hochwasservolumen.....	14
Abb. 4: Überblick über die sechs Schritte zur Herstellung der künstlichen Hydrographen (nach: Brunner u. a., 2016, S.470).....	15
Abb. 5: Angestrebte Grundgesamtheit, Auswahlgesamtheit und Inferenzpopulation bei Stichproben (nach: Schnell u. a., 2005, S.272).....	18
Abb. 6: Beispiel einer offenen Frage mit leerem Antwortfeld.....	25
Abb. 7: Beispiele geschlossener Fragen mit a) Alternativenvorgabe b) Rangierung c) ungeordneten Mehrfachvorgabe.....	25
Abb. 8: Beispiel einer Hybridfrage.....	26
Abb. 9: Teilnehmeranzahl pro Fragenummer.....	32
Abb. 10: Verteilung der Sprachauswahl [%].....	34
Abb. 11: Herkunft der Teilnehmer aufgeteilt in die vier Sprachregionen der Schweiz [%].....	34
Abb. 12: Zugehörigkeit der Teilnehmer [%].....	35
Abb. 13: Verteilung der Arbeitsfelder der Teilnehmer [%].....	36
Abb. 14: Der Bildungshintergrund der Teilnehmer [%].....	37
Abb. 15: Bei den Teilnehmern bestellte Produkte mit Bezug zu Hochwasser und Hochwasserabschätzungen.....	39
Abb. 16: Anwendungszweck der Produkte mit Bezug zu Hochwasserabschätzung [%].....	40
Abb. 17: Abbildung der Frage 9.....	40
Abb. 18: Anwendungshäufigkeit von Hochwasserabschätzungen aller Teilnehmer [%].....	42
Abb. 19: Durchschnittlich aufgewendete Zeit für Hochwasserabschätzungen.....	43
Abb. 20: Benutzte Methoden zur Hochwasserabschätzung in Gebieten mit Abflussmessungen [%].....	45
Abb. 21: Benutzte Methoden zur Hochwasserabschätzung in Gebieten ohne Abflussmessungen.....	46

Abb. 22: Von den Teilnehmern für die Hochwasserabschätzung zur Verfügung gestellte Angaben. ....	47
Abb. 23: Prozentuale Verteilung der Berechnungsmethoden des Hochwasservolumens.....	48
Abb. 24: Prozentuale Verteilung der Berechnung der Jährlichkeit des Hochwasservolumens.....	49
Abb. 25: Schwachstellen (Unsicherheiten) bei der von den Teilnehmern am häufigsten benutzten Methode in Gebieten ohne Abflussmessungen.....	51
Abb. 26: Schwachstellen (Unsicherheiten) bei der von den Teilnehmern am häufigsten benutzte Methode in Gebieten mit Abflussmessungen.....	53
Abb. 27: Von den Auftraggebern gewünschte Jährlichkeiten der Ereignisse.....	55
Abb. 28: Bestimmung der Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses.....	58
Abb. 29: Die Rolle der Unsicherheit bei der Hochwasserabschätzung. Ja = spielt eine Rolle, Nein = spielt keine Rolle [%].....	60
Abb. 30: Art und Weise, wie die Auftraggeber die Unsicherheit bei Hochwasserabschätzungen kommuniziert haben wollen [%].....	61
Abb. 31: Die Nutzung verschiedener Konfidenzintervalle durch die Teilnehmer.....	62
Abb. 32: Vorgehen der Teilnehmer in Bezug auf Unsicherheit.....	63
Tab. 1: Übersicht der Programme zur Hochwasserabschätzung.....	13
Tab. 2: Vor- und Nachteile einer Online-Umfrage.....	22
Tab. 3: Übersicht über die vier Firmen der Experteninterviews.....	31
Tab. 4: Hydrograph-Charakteristika, die bei der Hochwasserabschätzung berücksichtigt werden mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.....	41
Tab. 5: Zufriedenheit der Teilnehmer mit ihrer Methode zur Hochwasserabschätzung in Gebieten ohne Abflussmessungen ( <i>1 = gar nicht zufrieden und 10 = sehr zufrieden</i> ) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.....	49
Tab. 6: Zufriedenheit der Teilnehmer mit Ihrer Methode zur Hochwasserabschätzung in Gebieten mit Abflussmessungen ( <i>1 = gar nicht zufrieden und 10 = sehr zufrieden</i> ) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.....	50

Tab. 7: Schwachstellen der Hochwasserabschätzungsmethoden in Gebieten ohne Abflussmessungen. Antworten aus dem Zusatzfeld <i>Andere</i> mit der dazugehörigen Anzahl Teilnehmer.....	52
Tab. 8: Zeitaufwand für Hochwasserabschätzungen der Teilnehmer, welche bei der Frage nach der durchschnittlichen Berechnungszeit einen grossen Berechnungsaufwand bemängeln.....	52
Tab. 9: Schwachstellen bei Hochwasserabschätzungsmethoden in Gebieten mit Abflussmessungen. Antworten aus dem Zusatzfeld <i>Andere</i> mit der dazugehörigen Anzahl der Teilnehmer. ....	54
Tab. 10: Zeitaufwand für Hochwasserabschätzungen der Teilnehmer, welche bei der Frage nach der durchschnittlichen Berechnungszeit einen grossen Berechnungsaufwand bemängeln.....	54
Tab. 11: Weitere von Arbeitgebern gewünschte Jährlichkeiten.....	56
Tab. 12: Die benutzten Jährlichkeiten der Teilnehmer geordnet nach ihrer Wichtigkeit ( <i>1 = am häufigsten und 11 = am seltensten</i> ).....	57
Tab. 13: Die Wahrscheinlichkeit, dass die Teilnehmer die bivariate Methode anwenden würden ( <i>1 = sehr klein und 10 = sehr gross</i> ) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.....	59
Tab. 14: Gegenüberstellung der Zufriedenheit ( <i>1 = sehr klein und 10 = sehr gross</i> ) mit der bisherigen Methode und der Anwendungswahrscheinlichkeit (siehe Text) der bivariaten Methode. ....	59
Tab. 15: Die häufigste Antworten und Kommentare.....	64
Tab. 16: Übersicht über die Zufriedenheit mit den Methoden für Gebiete mit Abflussmessungen (Zufrieden = Kategorien 8 bis 10, Unzufrieden = Kategorien 1 bis 3) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer. Die Prozentzahl bezieht sich auf die Gesamtzahl der Teilnehmer, welche diese Methode gewählt haben. ....	70
Tab. 17: Übersicht über die Zufriedenheit mit den Methoden für Gebiete ohne Abflussmessungen (Zufrieden = Kategorien 8 bis 10, Unzufrieden = Kategorien 1 bis 3) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer. Die Prozentzahl bezieht sich auf die Gesamtzahl der Teilnehmer, welche diese Methode gewählt haben. ....	71
Tab. 18: Häufigkeit von Hochwasserabschätzungen bei unterschiedlichen Anwendergruppen mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer. ....	72
Tab. 19: Aufteilung der langen Berechnungsdauer (> 1 Woche und 1-7 Tage) und kurzen Berechnungsdauer (< 15 Minuten, 15-30 Minuten und 30-60	

Minuten) nach Arbeitsort der Teilnehmer und nach Arbeitsfeld, mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer. ....	73
Tab. 20: Teilnehmer, welche eine positive Wahrscheinlichkeit für die Verwendung bivariater Modelle angaben (Kategorien 6 bis 10, wobei 10= sehr wahrscheinlich, 1= sehr unwahrscheinlich), aufgeteilt nach Zugehörigkeit der Teilnehmer, mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer. ....	74
Tab. 21: Aufteilung des Anwendungszweckes <i>Dimensionierung</i> in die verschiedenen Hochwasserprodukte mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer. ....	75



## 1. Einleitung

In den letzten Jahren gab es in der Schweiz gravierende Hochwasserereignisse. So führten beispielsweise grossräumige Starkniederschläge im August 2005 unter anderem zu Überschwemmungen, Erosion und Rutschungen (Abb.1). Von diesem Unwetter waren neben der Schweiz auch Teile Österreichs und Deutschlands betroffen. In der Schweiz kamen sechs Menschen zu Tode und es entstanden Sachschäden von 3 Milliarden Franken, der höchste Wert seit dem Erfassungsbeginn von Unwetterschäden im Jahr 1972. Analysiert man die Wetterereignisse einer längeren Zeitperiode, dann sind solche Ereignisse wie im Jahr 2005 zwar selten, aber nicht unwahrscheinlich. In Zukunft muss mit weiteren solchen Ereignissen gerechnet werden (Bezzola und Hegg, 2007).



Abb. 1: Hochwasser der Aare in Bern, 2005 (BAFU, 2016, S.53).

Um Bevölkerung und Infrastruktur vor solchen Hochwasserereignissen bestmöglich zu schützen, braucht es zuverlässige Vorhersagen. Mittels Hochwasserabschätzungen<sup>1</sup> können Hochwasser<sup>2</sup> verschiedener Stärke berechnet und Bauwerke und Infrastruktur

---

<sup>1</sup> Die Begriffe Hochwasserberechnung und Hochwasserabschätzung werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

<sup>2</sup> In der folgenden Arbeit ist der Begriff Hochwasser definiert als „Ansteigen des Wasserstandes eines oberirdischen Gewässers über einen bestimmten Schwellenwert“ (Dikau und Pohl, 2011, S.1129).

an mögliche Ereignisse angepasst werden. Es gibt in der Schweiz viele unterschiedliche Verfahren für Hochwasserabschätzungen, welche je nach Einzugsgebiet und Anwendungszweck variieren. Die Auswahl einer für das Einzugsgebiet passenden Methode, die zum einen schnell anwendbar und zum anderen zuverlässig ist oder die Ungenauigkeit präzise angibt, ist von grosser Relevanz. Solche genauen Abschätzungen sind jedoch nicht immer möglich. Die Probleme bei der Hochwasserabschätzung in der Schweiz sind zum einen die Modelle selber. Diese sind zwar zahlreich vorhanden, aber es ist nicht restlos klar ist, wann welches eingesetzt werden soll und wie gross die Unsicherheiten derselben sind. Zum anderen verstärkt sich dieses Problem, indem die Kosten immer geringer gehalten werden sollen und somit auch der Zeitdruck ansteigt. Daher werden Modelle benutzt, die schnell Auswertungen liefern, jedoch einen grösseren Unsicherheitsbereich haben. Die Unterschätzung von Hochwassern kann die Sicherheit von Menschen und Infrastruktur gefährden, während eine Überschätzung unnötig Geld kostet. Eine zuverlässige Abschätzung ist demzufolge von grossem Interesse (Barben, 2003).

Weiterentwicklungen und Anpassungen von Hochwasserabschätzungsmethoden sind demnach wichtig, um die Zuverlässigkeit der Abschätzungen zu verbessern. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat deshalb der Abteilung Hydrologie und Klima des Geographischen Institutes der Universität Zürich den Auftrag gegeben, eine Methode mit einem neuen Ansatz zur Hochwasserabschätzung zu entwickeln. Bei den klassischen Hochwasserabschätzungen wird meistens ein univariater Ansatz gewählt, bei dem die Hochwasserspitze abgeschätzt wird. Eine neu entwickelte bivariate Methode hingegen berücksichtigt neben der Hochwasserspitze auch das Hochwasservolumen. Das Wasservolumen ist in diversen Anwendungsbereichen von zentraler Bedeutung, so zum Beispiel bei Dimensionierungsarbeiten, bei Seeregulierungen oder auch bei der Erarbeitung von Gefahrenkarten (Brunner u. a., 2017).

Diese bivariate Methode ist von der Abteilung Hydrologie und Klima des Geographischen Institutes der Universität Zürich entwickelt worden. Es ist aber noch ungewiss, wie diese bivariate Methode in der Praxis verwendet werden wird, da diese nun so gut wie möglich den Anforderungen der Praktiker<sup>3</sup> angepasst werden soll. Die Resultate dieser Arbeit sollen helfen, die Bedürfnisse der Anwender an die bivariate Methode zu erkennen, um die Methode dementsprechend anpassen zu können.

Um dieses Ziel zu erreichen, untersucht die vorliegende Masterarbeit die Methoden, die gegenwärtig in den Schweizer Ingenieurbüros für Hochwasserabschätzungen angewendet werden. Dabei soll ein Überblick über die spezifischen Bedürfnisse der Anwender an Hochwasserabschätzungsmethoden entstehen, um in Erfahrung zu bringen, was die Anforderungen an eine neue bivariate Methode sind. Zudem ist von Interesse, welche Parameter berücksichtigt werden sollen, damit die bivariate Methode in der Praxis ange-

---

<sup>3</sup> Um die Leserfreundlichkeit zu erhöhen, gelten in dieser Arbeit die männlichen Bezeichnungen wie Anwender oder Teilnehmer sinngemäss auch für Frauen.

wendet werden kann und dort einen grösstmöglichen Nutzen erzielt. Um mehr über diese Aspekte in Erfahrung zu bringen, wurde eine schweizweite Umfrage bei Büros und Unternehmen gemacht, welche Hochwasserabschätzungen durchführen.

## 2. Forschungsfragen

Mit einer schweizweiten Umfrage bei potentiellen Anwendern von Hochwasserabschätzungen, sollten die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

1. *Welche Hochwasserabschätzungsmethoden werden zur Zeit in Schweizer Ingenieurbüros verwendet?*

Erläuterung: Das Ziel dieser Forschungsfrage ist, einen Einblick in die gegenwärtigen Ansätze für die Hochwasserabschätzung zu erhalten. Unterschieden werden dabei Methoden in Gebieten mit Abflussmessungen und in Gebieten ohne Abflussmessungen. Zudem wird nach der Zufriedenheit der Anwender mit den von ihnen angewendeten Methoden gefragt.

2. *Wer sind die potentiellen Anwender einer bivariaten Hochwasserabschätzungsmethode?*

Erläuterung: Es ist bisher nicht bekannt, welche Unternehmen oder Verwaltungen der Schweiz Hochwasserberechnungen machen. Durch diese Forschungsfrage soll herausgefunden werden, wer Hochwasserabschätzungen durchführt und wer davon als möglicher Anwender einer bivariaten Methode in Frage kommt. Zum einen soll analysiert werden, welche Arbeitgeber und Unternehmen potentielle Anwender sind. Zum anderen werden die Bereiche analysiert, in welchen die Berücksichtigung des Hochwasservolumens wichtig ist. Dies ist zum Beispiel bei Retentionsbecken, bei Seeregulierungen oder bei Abschätzungen von Geschiebetransport der Fall. Die Teilnehmer, die in diesen Bereichen tätig sind, werden ebenfalls den potentiellen Anwendern zugeordnet.

3. *Entspricht eine bivariate Methode den Bedürfnissen der potentiellen Anwender und bringt sie in der Praxis Verbesserungen?*

Erläuterung: Um die Anforderungen der potentiellen Anwender an eine neue Methode zu verstehen, müssen sowohl die Vorteile als auch die Nachteile und Schwachstellen bei den von ihnen verwendeten Methoden untersucht werden. Angaben zu den Anwendungszwecken von Hochwasserabschätzungen helfen einzuordnen, in welchen Bereichen eine bivariate Methode hilfreich sein kann, und sie zeigen, wie gross die Relevanz der Variable Hochwasservolumen ist. Zudem können Angaben zur Berechnungszeit oder zu den wichtigsten Parametern als Hinweise für eine möglichst anwendungsnahe bivariate Methode dienen.

## 3. Wissenschaftlicher Hintergrund

### 3.1. Hintergrund der Hochwasserabschätzung

#### 3.1.1. Entwicklung des Hochwasserschutzes in der Schweiz

Hochwasserschutzprojekte gibt es in der Schweiz schon lange. Hochwasserschutzmassnahmen umfassen zum einen die Förderung des natürlichen Wasserrückhaltes wie Entsigelung oder Versickerung und zum anderen technische Massnahmen wie der Bau von Rückhaltebecken, Dämmen oder Mauern (LAWA, 1995). Ein bekanntes Beispiel ist die Linthkorrektur, deren Anfänge auf das frühe 19. Jahrhundert zurückgehen (Vischer, 2003). Mitte des 19. Jahrhunderts wurden erste empirische Formeln zur Hochwasserabschätzung genutzt, gefolgt von deterministischen Modellen im 20. Jahrhundert (Hagen u. a., 2007). Früher stand die Gefahrenabwehr an zentraler Stelle des Hochwasserschutzes. In den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde mit der Erkenntnis, dass ein vollständiger Schutz vor Hochwassern nicht realistisch ist, die Handhabung des damit verbundenen Risikos wichtiger (Spreafico u. a., 2003).

Schlimme Unwetter im Jahre 1987 und in den 90ern lösten ein nationales Umdenken nicht nur bei Hochwassern, sondern generell im Umgang mit Naturgefahren aus. Der Bundesrat gründete deshalb 1997 die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT mit dem Ziel, „...die Zunahme von Schäden zu verhindern, den Lebensraum nachhaltig zu schützen und die Vorbeugung zu verbessern“ (PLANAT, 2013, S.3). Die allgemeine Strategie der PLANAT ist das Erreichen eines schweizweiten Sicherheitsniveaus für Naturgefahren, welches die verschiedenen ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekte berücksichtigt. Ein Schlüsselpunkt ist die Festlegung von annehmbaren und nicht annehmbaren Risiken (PLANAT, 2013).

Im Bereich des Hochwasserschutzes ist die Integration von Risikomanagement in die Strategie der PLANAT von zentraler Bedeutung. Durch raumplanerische Massnahmen wie Bauverbotszonen in gefährdeten Gebieten soll das Schadenpotential so gering wie möglich gehalten werden. Zusätzlich ist auch die Instandhaltung von Schutzbauten wichtig. Um das Gefahrenpotential zu verringern werden Retentionsbecken gebaut, Seen reguliert oder Gerinne ausgebaut (BAFU, 2016).

Der Fokus verschob sich also von der Schadensverhütung hin zu einer Risikokultur. Bei der Risikokultur wird vor allem das Restrisiko, welches bei der Verwirklichung von Schutzmassnahmen bleibt, ins Zentrum der Überlegung gestellt, mit dem Ziel, dieses so weit als möglich zu verringern. Das bedeutet, dass die Schutzmassnahmen auch Extremereignissen standhalten müssen, wobei ein Extremereignis als Ereignis definiert wird, welches die gängigen Dimensionierungswerte überschreitet (Spreafico u. a., 2003).

Das ganze Konzept des Hochwasserschutzes basiert auf Hochwasserabschätzungen. Diese werden durchgeführt, um einzuschätzen wie häufig und in welchem Ausmass

Hochwasser in einem Gebiet vorkommen können. Mit Hilfe dieser Informationen wird entschieden, welche Schutzmassnahmen ergriffen werden müssen.

### 3.1.2. Generelles zur Hochwasserabschätzung

Der Vorgang einer Hochwasserabschätzung läuft meist ähnlich ab, wobei die Einschätzung der verschiedenen Abflussprozesse im zu untersuchenden Einzugsgebiet eine wichtige Komponente sein kann. Abhängig von den Charakteristiken des Einzugsgebietes und von den vorhandenen Daten werden eine oder mehrere geeignete Methoden ausgewählt. Es kommt darauf an, wie gross das Einzugsgebiet ist und ob Abflussmessungen vorhanden sind. Sind zum Beispiel langjährige Abflussmessungen vorhanden, kann die Extremwertstatistik angewendet werden. Bei kürzeren Messreihen bieten sich Niederschlags-Abfluss-Modelle an und wenn gar keine Daten vorhanden sind, kann auf Regionalisierungsmethoden zurückgegriffen werden. Nach Auswahl der Methode erfolgt als Nächstes eine Analyse der Streuung der Resultate, um die unplausiblen Ergebnisse ausschliessen zu können. Basierend auf den vorangegangenen Berechnungen wird schliesslich der Schätzwert für die zu erwartende Hochwasserspitze berechnet. Dabei werden im Idealfall auch der Streubereich und die Validierung der Resultate angegeben (Spreafico u. a., 2003).

Um den Schutz vor Hochwassern zu gewährleisten, werden Bauten so konstruiert, dass sie Ereignissen mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden ( $T$ ) (z.B. einem 100-jährlichen Ereignis -  $HQ_{100}$ ) standhalten können. Ein 100-jährliches Ereignis tritt im Durchschnitt alle 100 Jahre einmal auf. Je nachdem welche Art von Hochwasserschutzmassnahmen nötig sind, werden Hochwasserabschätzungen auch für seltenere Ereignisse mit grösseren Wiederkehrperioden berechnet (200-jährliches Ereignis, 300-jährliches Ereignis etc.). In der Regel wird das Schutzziel, das eine bestimmte bauliche Massnahme erfüllen muss, auf eine bestimmte Wiederkehrperiode festgelegt und die entsprechende Hochwasserabschätzung gemacht (Scherrer u. a., 2011).

Die Vielfältigkeit der hydrologischen Variablen, gekoppelt mit diversen regionalspezifischen Kenngrössen, macht den Gebrauch einer einzigen Methode für alle Hochwasserabschätzungen unmöglich. Dank der Weiterentwicklung in der digitalen Verarbeitung grosser Datensätze ist es aber vom Zeitaufwand her möglich, mehrere Verfahren anzuwenden. Weil die Resultate dadurch breiter abgestützt sind, werden sie zuverlässiger. Generell werden in der Schweiz am häufigsten drei unterschiedliche Hochwasserabschätzungsmethoden gewählt: Extremwertstatistik, Niederschlags-Abfluss-Modelle und Regionalisierungsmodelle (Kapitel 3.2). Die Wahl der passenden Methode hängt von den vorhandenen Daten und von den Gebietskenntnissen ab. Zudem hat jede Methode spezifische Vor- und Nachteile, die gegeneinander abgewogen werden müssen, um eine passende Wahl für das zu berechnende Einzugsgebiet zu treffen (Barben, 2013; Spreafico u. a., 2003; Viviroli, 2013).

### **3.1.3. Einfluss der Einzugsgebietsgrösse**

Die Grösse des Einzugsgebietes spielt eine wichtige Rolle für die Zuverlässigkeit einer Hochwasserabschätzung. Je kleiner die Einzugsgebiete sind, desto stärker reagiert die Hochwasserabschätzung auf geringfügige Veränderungen einzelner Faktoren der Gebietseigenschaften und ihre Unsicherheit vergrössert sich. Methoden, die in grösseren Einzugsgebieten sinnvoll sind, können in kleineren Gebieten nicht immer angewendet werden, da in diesen andere Abflussprozesse dominieren. In kleinen Einzugsgebieten spielen Arbeiten vor Ort, wie Kartierungen, eine wichtige Rolle. Deshalb sollte bei der Auswahl einer passenden Methoden für eine Hochwasserabschätzung zwischen kleinen (<10 km<sup>2</sup>) und mittelgrossen (10-500 km<sup>2</sup>) Einzugsgebieten differenziert werden (Barben, 2003; Spreafico u. a., 2003; Viviroli und Weingartner, 2012).

### **3.2. Verschiedene Hochwasserabschätzungsmethoden in der Übersicht**

Die Auswahl einer passenden Methode zur Hochwasserabschätzung hängt unter anderem davon ab, ob Abflussmessungen vorhanden sind und welche Gebiets- und Abflusscharakteristiken das Einzugsgebiet aufweist. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Methoden und die Voraussetzungen zu deren Benutzung.

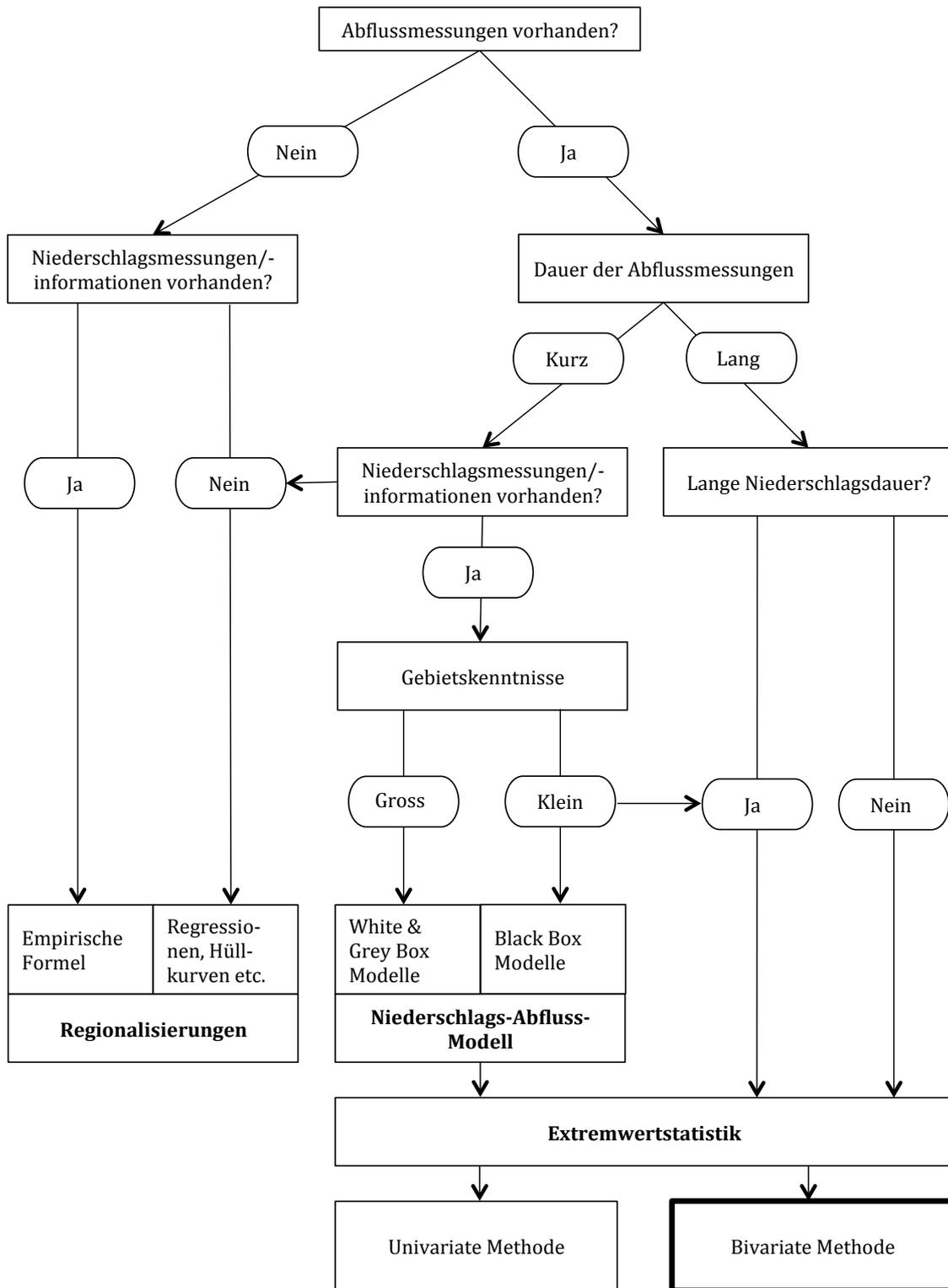


Abb. 2: Übersicht über die verschiedenen Hochwasserabschätzungsmethoden (nach: Spreafico u. a., 2003, S.10).

### 3.2.1. Extremwertstatistische Methoden

Extremwertstatistiken werden vorwiegend dann verwendet, wenn lange (z.B länger als 30 Jahre), charakteristische und homogene Abflussmessungen vorhanden sind. Diese

Daten werden statistisch ausgewertet (Spreafico u. a., 2003). In einem ersten Schritt wird bestimmt, welches die zu untersuchende Variable ist (Abflussspitze, Hochwasservolumen, jährlicher Abfluss, etc.). Bei der klassischen Hochwasserabschätzung wird meist ein univariater Ansatz gewählt, das heisst nur eine Variable in die Berechnung einbezogen. Meistens wird der Fokus dabei auf die Variable Hochwasserspitze gelegt. Bei der Auswahl des Datensets von Hochwasserereignissen stehen dann verschiedene Methoden zur Verfügung. Es kann zum Beispiel mittels Jahresmaxima (AM) oder durch die Peak-over-threshold (POT) Methode erhoben werden. Bei den AM kann es bei der Existenz von extremen Ereignissen zu Problemen kommen. In Jahren ohne grössere Hochwasser wird dann ein kleineres Hochwasser mit in das Datenset einbezogen. In Jahren mit mehr als einem grösseren Hochwasser hingegen wird nur eines davon berücksichtigt. Bei der POT Methode gibt es dieses Problem nicht, da ein Schwellenwert gesetzt wird, so dass eine vordefinierte Anzahl Ereignisse pro Jahr ausgewählt werden. Sind die Werte des Datensets bestimmt, sollte deren Qualität und Repräsentativität kontrolliert werden. Dies kann durch statistische Tests erfolgen, beispielsweise mit dem goodness-of-fit model. Sind die Werte des Datensets überprüft, wird deren empirische Verteilungsfunktion berechnet, oder die Werte werden an eine theoretische Verteilungsfunktion angepasst. Wurde zuvor das AM angewendet, kann die generalisierte Extremwertverteilung verwendet werden. Wurde zuvor die POT Methode benutzt, ist die Anwendung der generalisierte Paretoverteilung möglich. Die Wahl einer passenden Verteilungsfunktion ist schwierig und birgt grosse Unsicherheiten. Ist eine Verteilungsfunktion ausgewählt, erfolgt deren Kalibration durch Abschätzung der Modellparameter. Dann wird das Model validiert. Nachdem die Verteilungsfunktion nun festgelegt ist, wird eine Unsicherheitsanalyse gemacht, um die Zuverlässigkeit der Funktion abschätzen zu können. Als Letztes kann die gewählte Verteilungsfunktion für die Hochwasserabschätzung verwendet werden. Je nach Ziel und Zweck der Abschätzung werden hierbei entweder die Hochwasser einer bestimmten Häufigkeit berechnet oder die Häufigkeit von Hochwassern einer bestimmten Grösse (Meylan u. a., 2011).

Ein Vorteil der oben geschilderten Methode ist ihre einfache Anwendung. Als Nachteil kann der fehlende Einbezug der situationspezifischen Faktoren gewertet werden. Die unterschiedlichen Entstehungsprozesse von Hochwassern und die sich verändernden hydrologischen Parameter bei starken Niederschlägen sind zwar in den Messwerten enthalten, werden aber nicht explizit in die Abschätzung einbezogen (Spreafico u. a., 2003; Viviroli, 2013). Auch bei der Auswahl der Extremwertverteilung sollte man sich bewusst sein, dass diese mit einer Unsicherheit behaftet sind. Dies gilt auch für das Abschätzen der einzelnen Verteilungen (Klemeš, 2000).

Für Projekte wie Dimensionierungen oder Entlastungsbauwerke sind Hochwasserabschätzungen notwendig, welche seltene, extreme Hochwasser ( $T > \text{ca. } 300 \text{ Jahre}$ ) einbeziehen. Solche extreme Hochwasserabflüsse sind war selten, aber wenn sie geschehen,

sind sie verheerend. Da Zeitreihen systematischer Abflussmessungen kaum länger als 100 Jahre sind und diese Messspanne vielmals zu kurz ist, um auf seltene, extreme Hochwasser zu schliessen, gibt es einen grossen Unsicherheitsbereich bei der Hochwasserabschätzung. Gerade in der Schweiz, wo es im Zeitraum von 1882 bis 1976 wenige Hochwasser gab, wurde das Hochwasserpotential deshalb oft unterschätzt (Pfister, 2009). Hochwasserabschätzungen mit Messungen aus dem 20. Jahrhundert zu machen, ist deshalb mit grossen Unsicherheiten verbunden (Naef, 2007; Scherrer, 2007; Scherrer u. a., 2011).

Eine Möglichkeit, die extremen Hochwasser besser abzuschätzen, ist eine Analyse von historischen Hochwassern. In Gefahrenkarten sind historische Hochwasser zwar in Ereigniskatastern vorhanden. Diese beschreiben jedoch nur in Worten die gutachterliche Abgrenzung der Flächen. Diese haben demnach einen grossen Unsicherheitsbereich (Scherrer u. a., 2011). Deshalb sollten historische Ereignisse direkt in die Hochwasserabschätzung integriert werden. Aus den Hinweisen von Chroniken, Zeitungsarchiven, Versicherungsakten, Zeugen etc. werden Informationen über vergangene Ereignisse gesammelt. Sind diese Hinweise vertrauenswürdig, liefern sie zusätzliche Informationen zur Häufigkeitsverteilung, welche aus den Abflussmessungen erstellt werden kann (Bayliss und Reed, 2001). Dadurch wird die Beobachtungsspanne verlängert und neue Abflusshöchstwerte werden erkennbar (Naef, 2007; Scherrer, 2007; Scherrer u. a., 2011).

### **3.2.2. Niederschlag-Abfluss-Modelle**

Der Grundsatz bei Niederschlag-Abfluss-Modellen ist die rechnerische Transformation von Niederschlag in Abfluss. Es werden nicht nur einzelne Parameter, wie zum Beispiel die Abflussspitze, als Resultat geliefert, sondern auch die Hochwasserganglinie des betreffenden Ereignisses (Spreafico u. a., 2003; Viviroli, 2013). Für die Eichung der Niederschlag-Abfluss-Modelle reichen eher kurze Abflussmessreihen (z.B. <30 Jahre) (Spreafico u. a., 2003). Nach der Eichung werden die Niederschlagsdaten eingespielen. Ohne Abflussmessungen ist die Nutzung von Niederschlags-Abfluss-Modellen nicht oder nur in Ausnahmefällen, zum Beispiel bei Regionalisierungen, möglich (Spreafico u. a., 2003). Die Genauigkeit von Niederschlags-Abfluss-Modellen ist zum einen abhängig vom spezifischen Modell, welches verwendet wird, und zum anderen von den Informationen, die über das betreffende Gebiet vorhanden sind. Aufgrund ihres Detailgrades kann zwischen drei verschiedenen Modelltypen unterschieden werden: Grey-Box-, Black-Box- und White-Box-Modell (Abb. 2). Das White-Box Modell ist ein analytisches, deterministisches Modell, dem das Black-Box Modell als datenbasiertes, empirisches Modell gegenübersteht. Das dritte Modell ist das Grey-Box Modell, welches das physische Wissen mit den Informationen aus dem Datenset zusammensetzt (Khan und Khan, 2012). Liegt ein grosses Wissen über ein Einzugsgebiet vor, wird ein White- oder Grey-Box-Modell ver-

wendet, bei wenigen Informationen zum Gebiet ein Black-Box-Modell (Spreafico u. a., 2003; Viviroli, 2013).

Niederschlags-Abfluss-Modelle können auch in Kombination mit Extremwertstatistik angewendet werden. So können durch Simulation längere Abflusszeitreihen hergestellt werden und diese dann anstelle von gemessenen Daten in der Extremwertstatistik verwendet werden (Spreafico u. a., 2003; Viviroli, 2013).

### **3.2.3. Regionalisierung**

Wenn keine Abflussmessungen vorhanden sind, werden meist regionalhydrologische Ansätze benutzt. Diese umfassen zum Beispiel Hüllkurven, Regressionen oder auch die Anwendung von empirischen Formeln, wie zum Beispiel die Rational Formula (Viviroli, 2013). Regionalisierungsmethoden können sowohl bei univariaten als auch bei bivariaten Verfahren verwendet werden. Das Prinzip der Regionalisierung ist die regionale Übertragungsfunktion. Ausgehend von einem Einzugsgebiet mit Abflussmessungen, welche neben Messwerten auch Gebietskenngrößen wie topographische Informationen, Bodencharakteristiken etc. berücksichtigen, können die hydrologischen Parameter dieser Übertragungsfunktion mathematisch definiert werden. Diese erlaubt Hochwasserabschätzungen in Gebieten ohne Messungen (Spreafico u. a., 2003). Die Methoden der regionalen Übertragung lassen sich in drei Gruppen einordnen. Die erste Gruppe umfasst Interpolationsmethoden, bei welchen im Anwendungsgebiet vereinzelt Messwerte vorhanden sind, welche zwischen Einzugsgebieten interpoliert werden. In die zweite Gruppe fallen diejenigen Interpolationsmethoden, die zusätzliche Informationen wie Hangexposition, Seehöhe oder andere topographische Kenngrößen verwenden. Hierbei ist die Wahl von geeigneten Zusatzvariablen wichtig. Die dritte Gruppe bezeichnet alle Verfahren, welche hydrologische Daten und Gebietskenngrößen aus einem anderen, möglichst ähnlichen Gebiet oder einer homogenen Region verwenden (Blöschl und Merz, 2002). Die Wahl einer geeigneten Methode innerhalb der Regionalisierung ist essentiell für eine Verminderung der Unsicherheit. Andernfalls kann es durch die Heterogenität der Gebiete zu grossen Unsicherheiten kommen (Blöschl und Merz, 2002; Spreafico u. a., 2003).

### **3.2.4. Verfahren in kleinen Einzugsgebieten (<10 km<sup>2</sup>)**

Das grösste Problem bei Hochwasserabschätzungen in kleinen Einzugsgebieten (<10 km<sup>2</sup>) ist die Datenlage. Einerseits sind hier die Angaben spärlich und andererseits oft von nicht ausreichender räumlicher Auflösung. Denn in Gebieten von geringer Grösse sind die Abflussprozesse von Gebietseigenschaften geprägt, die auf kleinem Raum variieren. Diese kleinräumigen Prozesse gibt es zwar auch in grösseren Einzugsgebieten, doch gleichen sich diese dort besser aus und haben einen geringeren Einfluss auf die Hydrologie. Deshalb empfiehlt sich in kleinen Einzugsgebieten eine Feldbegehung, um die hydrologischen Parameter genauer zu bestimmen. Eine wichtige Arbeit vor der

Feldbegehung ist die Informationsbeschaffung. Informationen zu hydrologischen Werten können recherchiert werden und man findet sie in Kartenwerken, Gebietsbeschreibungen oder durch Gespräche mit Anwohnern. In einem zweiten Schritt werden Hypothesen für die Feldarbeit aufgestellt. So werden beispielsweise Hypothesen zu den hydrologischen Parametern des Bodens aufgestellt, die dann später im Feld überprüft werden. Durch die Feldbegehung können die hypothetischen Parameter angepasst und präzisiert werden. Wenn die Parameter festgelegt sind, beginnt die Berechnung der Hochwasserabflüsse. Es existieren einige Berechnungsverfahren, wie zum Beispiel die Verfahren nach Müller, Kölla oder Clark-WSL, aber keines davon ist für eine alleinige Nutzung geeignet, da jedes Verfahren unterschiedliche Stärken und Schwächen besitzt (Dobmann, 2009; Spreafico u. a., 2003).

Das Softwarepaket HAKESCH (Hochwasser Abschätzung in Kleinen Einzugsgebieten der Schweiz) wurde von der WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) entwickelt und ist ein effektives Werkzeug für Hochwasserabschätzungen in kleinen Einzugsgebieten (Tab. 1). Es integriert fünf verschiedene Verfahren (Taubmann, modifiziertes Fließzeitverfahren, Kölla, Müller, Clark-WSL), und die Abschätzung der Abflussspitze ist für unterschiedliche Wiederkehrperioden möglich. Für die Festlegung der Parameter des Einzugsgebietes werden verschiedene Dateninformationen wie Kartenwerke und Niederschlagswerte (siehe oberer Abschnitt) benötigt. Die festgelegten Parameter können in HAKESCH eingegeben werden und es wird eine Hochwasserspitze berechnet. Zum Teil basieren die Niederschlagsdaten, welche von HAKESCH und auch von den im Folgendem besprochenen Programmen ZEMEKOST und HQx\_meso\_CH als Eingangsdaten benutzt werden, auf der Extremwertstatistik (Dobmann, 2009; Spreafico u. a., 2003).

Das Excel-basierte Programm ZEMOKOST kann für Hochwasserabschätzung mit beliebigen Wiederkehrperioden in Wildbacheinzugsgebieten  $<10 \text{ km}^2$  angewendet werden. ZEMOKOST basiert auf dem Laufzeitverfahren. Eingegebene Niederschlagsmengen bestimmen Abflussganglinien, welche durch ihre Laufzeit an der Oberfläche definiert werden. Für die Plausibilisierung der Resultate braucht es jedoch das Fachwissen des Anwenders (Dobmann, 2009).

### **3.2.5. Verfahren in mittelgrossen Einzugsgebieten (10-500 km<sup>2</sup>)**

Für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen unterschiedlicher Wiederkehrperioden in mittelgrossen Einzugsgebieten (10-500 km<sup>2</sup>) innerhalb der Schweiz wurde die Software HQx\_meso\_CH entwickelt (Tab. 1). Die für die Hochwasserabschätzung benötigten Modell-Inputparameter sind von der ganzen Schweiz in einem 100 m Raster vorhanden und es werden weder Zusatzprogramme noch weitere Dateninformationen für die Abschätzung benötigt. Im Programm kann das Einzugsgebiet bestimmt werden und es gibt

Auskunft über die Summe des Schadenpotentials, welches der Summe der Sachwerte entspricht. Es kann zwischen verschiedenen Verfahren ausgewählt werden. BaD7, GIUB'96, Kölla meso, Kürsteiner, Momente und Müller-Zeller sind alle in der Software HQx\_meso\_CH integriert. Die Verfahren sind gleichzeitig verwendbar und die Resultate und Modellparameter können miteinander verglichen und die Streuung der Ergebnisse analysiert werden. Mit den plausiblen Ergebnissen wird der Schätzwert für die Hochwasserspitze bestimmt. Der Vorteil der Software HQx\_meso\_CH ist die einfache Bedienung und somit ein Zeit- und Kostenersparnis. Um die verschiedenen Möglichkeiten der Software bestmöglich zu nutzen und um die erhaltenen Resultate zutreffend zu interpretieren braucht es allerdings Fachwissen. Denn die Resultate, welche die Software liefert, dienen als Hilfsmittel und sollen die Anwender bei der Entscheidung zur Bestimmung der Abflussspitze unterstützen (Barben, 2013, 2003; Dobmann, 2009; Spreafico u. a., 2003).

Durch die Nutzung der Software HAKESCH und HQx\_meso\_CH hat sich der Schwerpunkt der Hochwasserabschätzung von der Berechnung hin zur Analyse der Resultate verschoben. Dadurch gewinnen Erfahrung und Fachwissen der Anwender zunehmend an Bedeutung (Barben, 2013, 2003; Spreafico u. a., 2003).

Ein weiteres Modellsystem, das für Einzugsgebiete  $>25 \text{ km}^2$  geeignet ist, ist das Modellsystem PREVAH-regHQ. Bei diesem Modell werden die Niederschlags-Abfluss-Modelle mit Regionalisierungsmethoden erweitert, und damit ist es anwendbar in Gebieten ohne Abflussmessungen. Mit den regionalisierten Parametern können langjährige Abflussganglinien simuliert werden. Diese werden mittels Extremwertstatistik ausgewertet und es kann eine Hochwasserabschätzung vorgenommen werden (Viviroli und Weingartner, 2012).

Tab. 1: Übersicht der Programme zur Hochwasserabschätzung.

<b>Kleine Einzugsgebiete (&lt;10 km<sup>2</sup>)</b>	<b>Grosse Einzugsgebiete (10-500 km<sup>2</sup>)</b>
HAKESCH ZEMOKOST	HQx_meso_CH PREVAH-regHQ

### 3.3. Bivariate Methode

Wie in der Einleitung erwähnt, hat das BAFU die Erarbeitung einer neuen, bivariaten Methode in Auftrag gegeben (Kap. 1). Eine solche bivariate Methode, welche die Hochwasserspitze und das Hochwasservolumen berücksichtigt, ist besonders wichtig bei der Konstruktion von Wasserbauwerken und beim Erstellen von Gefahrenkarten. Die bivariate Methode kann den Verfahren der Extremwertstatistik zugeordnet werden (Abb.2). Der Unterschied zur klassischen univariaten Methode der Extremwertstatistik (Kapitel 3.2.1) liegt darin, dass bei der bivariaten Methode nicht nur die Hochwasserspitze, son-

dern auch das Hochwasservolumen in die Berechnung einbezogen wird. Das bedeutet, dass eine zusätzliche Variable analysiert und mehr Informationen zur Verfügung gestellt wird. Die bivariate Methode wird zudem mit einer Schätzung der Hydrographform ergänzt (Abb.3). Somit wird indirekt auch die Dauer des gesamten Hochwasserereignisses bekannt, nämlich sowohl die Dauer bis zur Hochwasserspitze als auch die Dauer des Rückganges. Zusätzliche Informationen zum Hochwasservolumen ist vor allem von Bedeutung bei der Berechnung von Bemessungshochwassern, die dann verwendet werden, um Speicher zu dimensionieren (Brunner u. a., 2016).

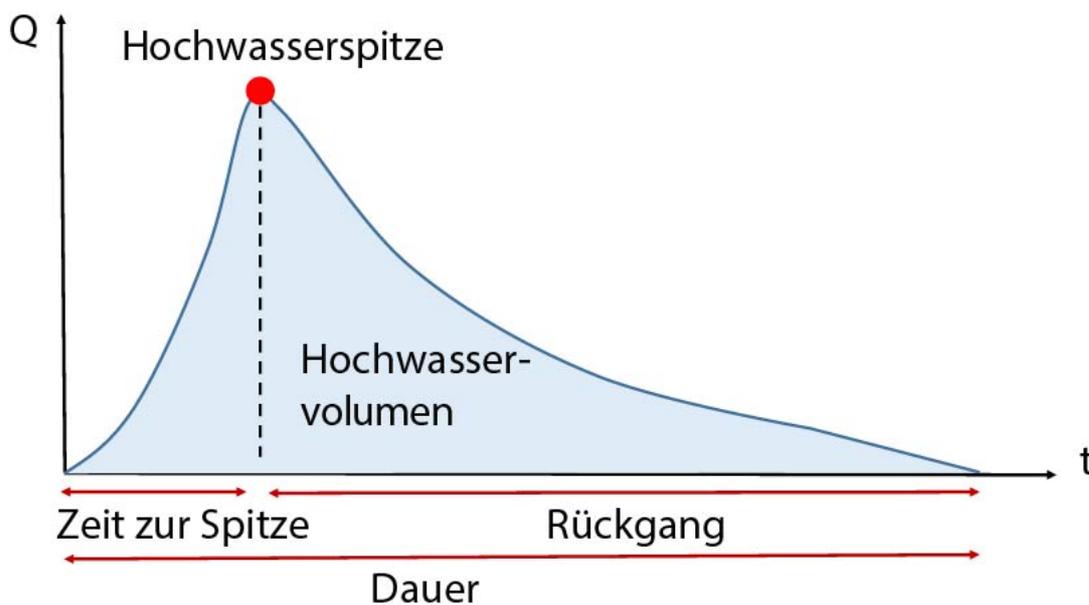


Abb. 3: Hydrograph mit Hochwasservolumen.

Bei der neu entwickelten bivariaten Methode (Brunner u. a., 2016) wird ein statistischer Ansatz zur Abschätzung der Hochwasserspitze und des Hochwasservolumens gewählt und ein Designhydrograph konstruiert. Dabei wird die Abhängigkeit von Hochwasservolumen und Spitzenabfluss berücksichtigt. Diese Abhängigkeit ist wichtig, da Hochwasser multivariate Ereignisse sind (Yue und Rasmussen, 2002). Weil bei einer univariaten Häufigkeitsanalyse, bei der entweder die Hochwasserspitze oder das Hochwasservolumen untersucht werden, die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses weder vollständig noch zuverlässig eingeschätzt werden kann, ist es wichtig, diese Abhängigkeit einzubeziehen. Obwohl in der Literatur schon Methoden existieren, die mehrere Variablen analysieren und in gegenseitige Abhängigkeit bringen, bleiben diese in der Praxis wegen ihrer Komplexität nur schwer anwendbar (Yue und Rasmussen, 2002). Die entwickelte bivariate Methode hingegen soll praxisnah sein. Deshalb ist sie zum einen einfach und zum anderen nicht zu zeitaufwendig. Die Methode kann für Einzugsgebiete zwischen 50-2000 km<sup>2</sup> angewendet werden, in welchen keine menschlichen Einflüsse das natürliche

hydrologische Verhalten beeinflussen und die nicht vergletschert sind (Brunner u. a., 2016).

Der Vorgang zur Herstellung des Designhydrographen umfasst sechs Schritte (Brunner u. a., 2016) (Abb. 4). In einem ersten Schritt wird, gleich wie bei der Extremwertstatistik, das Datenset des Einzugsgebiets bestimmt. Dazu werden Abflussdaten benötigt. Um die betreffenden Hochwasserereignisse zu selektieren, wird das POT-Verfahren, bei dem sämtliche Ereignisse über einem bestimmten Schwellenwert ausgewählt werden, benutzt. Der Schwellenwert wird so festgelegt, dass eine vordefinierte Anzahl von unabhängigen Ereignissen pro Jahr ausgewählt wird. Um die Unabhängigkeit voneinander zu garantieren, wurde eine Mindestzeitspanne zwischen den Ereignissen eingeführt. Wie in Kapitel 3.2.1 erwähnt, folgen die POT-Werte der generalisierten Paretoverteilung, die demnach benutzt wurde, um die Werte der Hochwasserspitzen der Verteilungsfunktion anzupassen. Da bei der Auswahl des Datensets das POT-Verfahren nicht für das Volumen angewendet wurde, folgen die Volumenwerte der allgemeinen Extremwertverteilung (Brunner u. a., 2016).

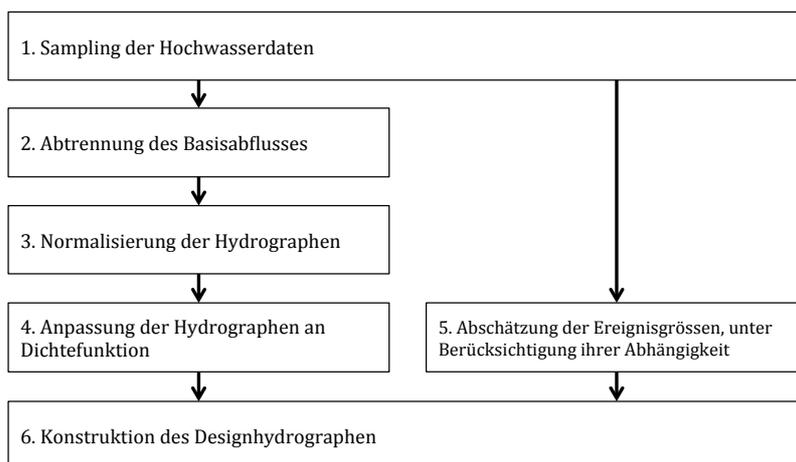


Abb. 4: Überblick über die sechs Schritte zur Herstellung der künstlichen Hydrographen (nach: Brunner u. a., 2016, S.470).

Zweitens wird der *Basisabfluss* vom *direkten Abfluss* getrennt, da der Designhydrograph nur den direkten Abfluss beschreibt. Die Abtrennung wird mit einem *rekursiven digitalen Filter* gemacht. Mit diesem Filter wird der Abfluss in die zwei Komponenten direkter Abfluss und Basisabfluss gespalten (Eckhardt, 2005). Drittens wird eine Normalisierung der Hydrographen des direkten Abflusses durchgeführt, so dass sowohl die Breite als auch das Volumen gleich eins sind. In einem vierten Schritt wird die Form der normalisierten Hydrographen bestimmt, indem diese einer Dichtefunktion angepasst werden. Verschiedene Dichtefunktionen werden angewendet, um die beste Dichte zu finden. Die Parameter wurden so geschätzt, dass die Dichtefunktion den normalisierten Hydrographen so gut wie möglich gleicht. Die Dichtefunktion, die dem Median der normalisierten Hydrographen am nächsten ist, wird ausgewählt. Es wird bewusst der Median und nicht der Durchschnitt der Hydrographen genommen, da der Median im Unter-

schied zum Durchschnitt ein tatsächlich eingetretenes Ereignis darstellt. So entsteht ein repräsentativer, normalisierter Hydrograph für das Einzugsgebiet. Fünftens werden die Ereignisgrößen (Hochwasserspitze und Volumen) mit einer bestimmten Wiederkehrperiode mittels einer Randverteilung geschätzt. Für die Randverteilung des Volumen wird wiederum eine allgemeine Extremwertverteilung benutzt und für die Hochwasserspitze die generalisierte Paretoverteilung. Um die Abhängigkeit der beiden Variablen zu berechnen, wird eine *Copula* benutzt. Dank der Copula ist es möglich, dass zwei Variablen mit unterschiedlichen Randverteilungen dargestellt werden. Im sechsten und letzten Schritt werden die abgeschätzten Hochwasserspitzen und Volumen verwendet, um die repräsentative, normalisierte Hydrographform auf einen Designhydrographen hinauf zu skalieren (Brunner u. a., 2016).

Bei der Konstruktion von Wasserbauwerken, bei denen das Volumen des Hochwassers eine wichtige Rolle spielt, bringt die bivariate Methode einige Vorteile. Zum einen ist die Methode einfach anwendbar. Zum anderen ist auch die Unabhängigkeit von Niederschlags-Abfluss-Modellen als Vorteil zu sehen, denn dadurch sind weniger Input-Daten notwendig. Werden allerdings mehr Input-Daten benötigt, können Niederschlags-Abfluss-Modelle zur Simulation von längeren Abflusszeitreihen benutzt werden. Ein letzter Vorteil liegt darin, dass die Abhängigkeit von Hochwasserspitze und Hochwasservolumen berücksichtigt wird. Das weitere Ziel der bivariaten Methode ist, diese auch in Einzugsgebieten ohne Abflussmessungen anwenden zu können (Brunner u. a., 2016).

## 4. Empirische Methodik

Die in der vorliegenden Arbeit angewendete Methode, um mehr über mögliche Implementierungen der bivariaten Methode zur Hochwasserabschätzung in der Praxis herauszufinden, umfasst zwei Schritte. In einem ersten Schritt wird eine semiquantitative Methode der Datenerhebung gewählt. Es wird eine Online-Umfrage durchgeführt, bei der eine grosse und repräsentative Anzahl von potentiellen Anwendern erweicht werden soll. In einem zweiten Schritt wird eine qualitative Methode angewendet (Mieg und Brunner, 2001). Einige Anwender werden anhand erster Auswertungen aus der Online-Umfrage ausgesucht, um mit ihnen Experteninterviews durchzuführen. Die Experteninterviews erlauben es, spezifisch auf einzelne Punkte einzugehen und geben neben einem genaueren Einblick in die Anwendung der von ihnen benutzten Methoden auch Hinweise zu nötigen Anpassungen der bivariaten Methode in der Praxis.

Die Zielgruppe ist in beiden Schritten dieselbe und setzt sich aus Personen zusammen, die sich sporadisch oder regelmässig mit Hochwasserabschätzung befassen. Sie umfasst Gemeindeverwaltungen, kantonale Verwaltungen, den Bund, private Firmen und Stiftungen innerhalb der Schweiz.

### 4.1. Wahl der empirischen Forschungsmethode

Bevor eine empirische Umfrage durchgeführt wird, sollten einige Parameter definiert werden. So muss klargestellt werden, was die Grundgesamtheit der Umfrage ist und mit welcher Art von Umfrage sich die Forschungsfragen am besten beantworten lassen.

#### 4.1.1. Stichprobenauswahl

Als Erstes wird bei einer empirischen Umfrage die Grundgesamtheit bestimmt. Die Grundgesamtheit stellt die totale Anzahl an Subjekten dar, für welche die Aussagen der Umfrage zutreffen sollen. In der hier durchgeführten Umfrage setzt sich die Grundgesamtheit demnach aus sämtlichen Anwendern von Hochwasserberechnungen in der Schweiz zusammen. Es wird keine Vollerhebung, sondern eine Teilerhebung durchgeführt. Das heisst, nur ein Teil der Grundgesamtheit wird an der Umfrage teilnehmen. Eine Vollerhebung ist aus zwei Gründen unmöglich. Erstens gibt es kein Verzeichnis, das erfasst, welche und wie viele Personen in der Schweiz Hochwasserberechnungen durchführen. Zweitens ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass sämtliche Zielpersonen, die für eine Teilnahme an der Umfrage angefragt werden, daran teilnehmen. Des Weiteren ist der Zeitrahmen durch den Umfang der Masterarbeit beschränkt. Deshalb wird anstelle einer Vollerhebung nur eine Teilerhebung anhand einer Stichprobe durchgeführt. Der Nachteil von Stichproben ist, dass die Eigenschaften ihrer Elemente statistisch nicht den tatsächlichen Wert angeben, sondern vom wahren Wert abweichen können. Der klare

Vorteil von Stichproben ist der begrenzte Zeitaufwand und die damit verbundene Kostenreduktion (Schnell u. a., 2005).

#### 4.1.2. Grundgesamtheit

Es muss zwischen der *angestrebten Grundgesamtheit* und der *Auswahlgesamtheit* unterschieden werden. Die oben erwähnte Grundgesamtheit, welche alle Elemente beinhaltet, auf die am Ende der Umfrage die Aussagen bezogen werden, wird als angestrebte Grundgesamtheit bezeichnet (Abb. 5). In der hier durchgeführten Umfrage wird die angestrebte Grundgesamtheit demnach durch sämtliche Anwender von Hochwasserberechnungen in der Schweiz verkörpert. Die Auswahlgesamtheit umfasst nur die Elemente, die eine potentielle Chance haben, sich in der gewählten Stichprobe wiederzufinden. Eine Unterscheidung zwischen Grund- und Auswahlgesamtheit ist notwendig, weil es sonst bei der Stichprobenziehung zu Fehlern kommen kann, unter anderem zu sogenannter *undercoverage* oder *overcoverage*. In dieser Umfrage bedeutet *undercoverage*, dass Anwender von Hochwasserberechnungen nicht befragt werden, obwohl sie zur angestrebten Grundgesamtheit gehören. *Overcoverage* andererseits bedeutet, dass Anwender befragt werden, die keine Hochwasserberechnungen durchführen und dementsprechend nicht in der angestrebten Grundgesamtheit enthalten sind. Zusätzliche Fehler entstehen, wenn Anwender beispielsweise nicht erreichbar sind oder nicht an der Umfrage teilnehmen wollen. Berücksichtigt man *undercoverage*, *overcoverage* und andere Fehler bei der durchgeführten Stichprobe, erhält man die sogenannte *Inferenzpopulation*. Diese stellt die Grundgesamtheit dar, auf welche die Aussagen der Umfrage bezogen werden. Je genauer die angestrebte Grundgesamtheit mit der Inferenzpopulation übereinstimmt, umso zuverlässiger ist das Ergebnis (Baur und Florian, 2009; Schnell u. a., 2005).

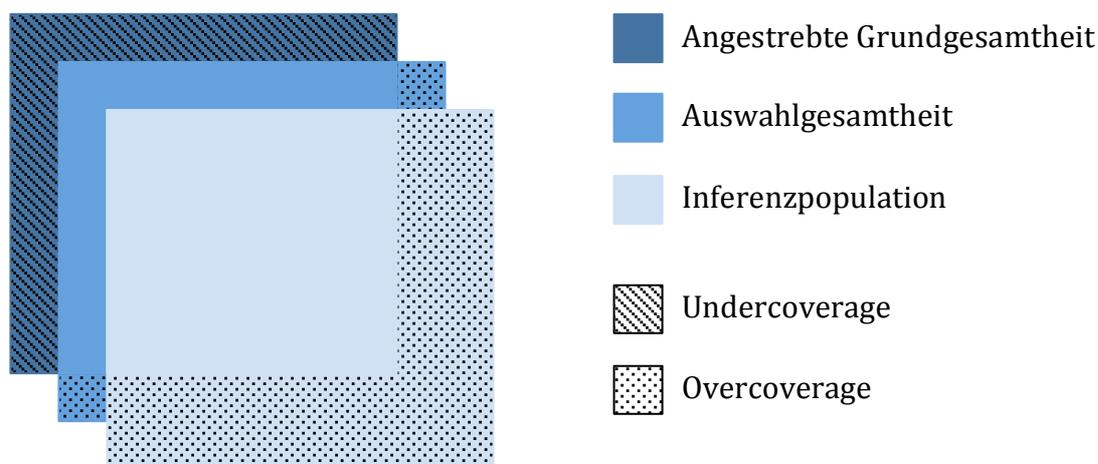


Abb. 5: Angestrebte Grundgesamtheit, Auswahlgesamtheit und Inferenzpopulation bei Stichproben (nach: Schnell u. a., 2005, S.272).

Zur Vereinfachung wird im weiteren Verlauf der Arbeit der Begriff 'angestrebte Grundgesamtheit' vereinfacht Grundgesamtheit genannt.

Eine weitere Entscheidung, die getroffen werden muss, ist, ob die Stichprobe durch ein Zufallsverfahren gezogen wird, oder ob ein gesteuertes Auswahlverfahren verwendet wird. In der hier durchgeführten Umfrage werden die Teilnehmer durch ein spezielles Zufallsverfahren aus der Gesamtheit aller Kontakte ermittelt. Dieses Verfahren beruht grundsätzlich auf einem Zufallsprinzip, ergänzt mit von Experten empfohlenen Kontakten. Ein Experte wird definiert als Person, die aufgrund langjähriger Erfahrung sich Wissen und Können in einem bestimmten Gebiet angeeignet hat (Mieg und Brunner, 2001). Das heisst, ein sogenanntes Screening war notwendig, um die Teilnehmer der Umfrage zu bestimmen (Schnell u. a., 2005).

Der Vorgang eines Screenings wird im nächsten Abschnitt genauer erläutert.

#### **4.1.3. Screening**

In dieser Umfrage wird nur eine kleine Teilmenge der Gesamtbevölkerung der Schweiz untersucht. Deshalb ist ein spezielles Verfahren notwendig, um die totale Anzahl der Grundgesamtheit zu bestimmen. Dies ist in diesem Fall sehr schwierig, da nicht klar definiert ist, wer in welchen Unternehmen Hochwasserberechnungen durchführt. Dazu kommt die Möglichkeit, dass es Unternehmen gibt, die Hochwasserschutz zwar als Dienstleistung angeben, diese Berechnungen aber nicht selber durchführen, sondern an externe Firmen weitergeben. Da demnach keine vollständige Liste mit allen Anwendern von Hochwasserberechnungen innerhalb der Schweiz vorhanden ist, ist es notwendig, die Informationen dazu aus mehreren Quellen zusammenzutragen. Dieser Vorgang wird *Screening* genannt. Es gibt *passives* und *aktives Screening*. Bei ersterem werden aus einer externen, bestehenden Liste Personen für die Teilnahme herausgesucht. Letzteres bedeutet, dass eine eigene Liste zusammengestellt wird. Dazu wird Kontakt mit Experten in diesem Gebiet aufgenommen und mit deren Wissen und Erfahrung eine Liste der potentiellen Teilnehmer zusammengestellt (Lavrakas, 2008; Schnell u. a., 2005).

In dieser Umfrage musste somit auf aktives Screening zurückgegriffen werden. Die Liste der Kontakte wurde mit Hilfe von diversen Experten aus dem Bereich der Hochwasserabschätzung zusammengestellt.

#### **4.1.4. Repräsentativität der Stichprobe**

Obwohl der Begriff Repräsentativität als eines der wichtigsten Gütekriterien bei empirischen Analysen betrachtet wird, ist dieser Ausdruck vorsichtig zu verwenden. Im Alltag wird der Begriff immer häufiger benutzt und dessen genaue Definition verschwimmt zusehends. Auch im Bereich empirischer Analysen wird auf eine nähere Definition des Öfteren verzichtet, darauf vertrauend, dass das allgemeine Konzept der Repräsentativität bekannt ist (Von der Lippe und Kladroba, 2002).

Eine allgemeine Definition einer repräsentativen Stichprobe ist, dass diese dieselben Merkmale und Ausprägungen in der Inferenzpopulation aufweist wie in der Grundgesamtheit selbst. Trifft dies auf die Inferenzpopulation zu, ist die Stichprobe repräsentativ

und es kann ein *Repräsentationsschluss* gezogen werden. Wie in Kapitel 4.1.2 erwähnt, sind Abweichungen der Inferenzpopulation von der angestrebten Grundgesamtheit zu erwarten. Eine genaue Übereinstimmung ist nahezu unmöglich. Hinzu kommt, dass die zu erwartenden Abweichungen umso grösser sind, je kleiner eine Stichprobe ist (Stier, 1999).

Eine weitere Einschränkung ist, dass einzig bei Zufallsstichproben ein Repräsentationsschluss gezogen werden kann. Wenn eine Stichprobe zufällig genommen wird, kann diese durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung charakterisiert werden und die Nutzung von Statistik ist möglich. Diese erlaubt die Quantifizierung des Stichprobenfehlers. Das heisst, man kann abschätzen, wie nahe die Stichprobe am wahren Wert der Grundgesamtheit liegt und kann dadurch Rückschlüsse auf deren Repräsentativität ziehen (Urđan, 2010). Bei einer Auswahl, die nicht vollkommen zufällig getroffen wurde, kann die übliche Statistik nicht angewendet werden. Hier kommt nur die deskriptive Datenanalyse in Frage und Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit können nur beschreibend und nicht mathematisch gemacht werden (Von der Lippe und Kladroba, 2002).

Auch bei Zufallsstichproben ist die Nutzung des Begriffes der Repräsentativität kritisch zu hinterfragen. „Die Vielfalt und Verschwommenheit der verschiedenen Definitionen bewirkt, dass die blosser Feststellung, bei einer gegebenen Stichprobe handle es sich um eine „repräsentative Stichprobe“ oder um eine „Repräsentativbefragung“ nichts aussagt; erst recht handelt es sich um kein exakt definiertes Gütekriterium“ (Schnell u. a., 2005, S.305). Von der Lippe und Kladroba (2002) gehen noch weiter und bezeichnen Repräsentativität bei Stichprobenuntersuchung als falsch entwickeltes Konzept, welches in keiner Hinsicht ein Qualitätsmerkmal darstelle.

Vom Gebrauch des Begriffes ist also in jenen Fällen abzuraten, bei denen er einerseits nicht implizit definiert wird, und wenn andererseits keine Zufallsstichprobe durchgeführt wird. Eine deskriptive Analyse der Resultate ist nicht minder gültig als eine statistische Analyse, da der Wert und die Aussagekraft der Schlussfolgerungen auf die Grundgesamtheit nicht reduziert wird (Schnell u. a., 2005; Stier, 1999; Von der Lippe und Kladroba, 2002).

Der Begriff der Repräsentativität wird für diese Arbeit folgendermassen definiert: Die Stichprobe ist repräsentativ, wenn die Ergebnisse auf die Grundgesamtheit hochgerechnet werden könnten und deren Charakteristiken so gut wie möglich abbilden. Mitberücksichtigt wird, dass bei der Stichprobenziehung mögliche Fehler wie under- oder overcoverage vorgekommen sind.

#### **4.1.5. Stichprobengrösse**

Im Allgemeinen gilt, dass Stichproben mindestens 30 Werte umfassen sollen um repräsentativ zu sein (Mossig, 2012). Um den minimalen Stichprobenumfang genauer be-

rechnen zu können, wird üblicherweise auf folgende Formel zurückgegriffen (Mossig, 2012, S.21):

$$n \geq \frac{N}{1 + \frac{(N-1) * \varepsilon^2}{z^2 * P * Q}}$$

$n$  = minimale Anzahl Teilnehmer bei einer endlichen Grundgesamtheit

$N$  = Grundgesamtheit

$\varepsilon$  = tolerierter Fehler

$z$  = berechneter Wert der Standardnormalverteilung

$P$  = Mittelwert der Grundgesamtheit

$Q = 1 - P$

Die Variable  $n$  steht für die minimal erforderliche Grösse der Stichprobe, wenn eine endliche Grundgesamtheit ( $N$ ) vorliegt. Diese ist in dieser Umfrage nicht genau bekannt und wird auf 600 bis 800 geschätzt. Dieser Wertebereich erschliesst sich aus der Anzahl der erhaltenen Kontakte und aus der Einschätzung von Fachleuten. Die Variable  $z$  bezieht sich auf das Konfidenzintervall. Dies ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse innerhalb des geduldeten Fehlerintervalls liegen. Hier wird das Konfidenzintervall von 95 % gewählt. Der  $z$ -Wert kann aus einer Wertetabelle herausgelesen werden (Mossig, 2012, S.26). Im Falle eines Konfidenzintervalls von 95 % beträgt er  $z = 1.96$ . Die Variable  $\varepsilon$  steht für den tolerierten Fehler, der den Bereich um den Mittelwert aller Ergebnisse definiert. Der Wert gibt dabei an, um wie viel der Wert der Stichprobe sich vom wahren Wert der Grundgesamtheit unterscheiden darf. Hier wird 0.05 für  $\varepsilon$  angenommen.  $P$  entspricht dem wahren Mittelwert der Grundgesamtheit und  $Q$  ist definiert als  $1 - P$ . Das Produkt  $P * Q$  soll möglichst gross sein, damit der Umfang der Stichproben auch im schlechtesten Fall genügend gross ist. Am grössten ist das Produkt  $P * Q$  mit  $P = 0.5$ , womit  $Q$  ebenfalls den Wert 0.5 annimmt.

Setzt man die Werte in die Formel ein, erhält man folgenden Stichprobenumfang für eine Grundgesamtheit von 800 Leuten ( $N = 800$ ):

$$n \geq \frac{800}{1 + \frac{(800-1) * 0.05^2}{1.96^2 * 0.5 * 0.5}}$$

$$n \geq 259.75$$

Für eine Grundgesamtheit von 600 Leuten ( $N = 600$ ) erhält man einen Stichprobenumfang von:

$$n \geq \frac{600}{1 + \frac{(600 - 1) * 0.05^2}{1.96^2 * 0.5 * 0.5}}$$

$$n \geq 234.44$$

Das heisst, die Stichprobengrösse in unserem Fall sollte zwischen 235 und 260 Personen liegen.

## 4.2. Online-Umfrage

### 4.2.1. Vor- und Nachteile

Online-Umfragen haben verschiedene Vor- und Nachteile, die in diesem Abschnitt kurz vorgestellt werden (Tab. 2).

Zu den Vorteilen gehören verschiedene Aspekte. Eine Online-Umfrage kann man sehr flexibel gestalten und individuell an die Teilnehmenden anpassen. So kann zum Beispiel die Sprache in der Umfrage je nach Wunsch ausgewählt werden. Davon wurde in dieser Umfrage Gebrauch gemacht, indem sie in Deutsch oder Französisch angeboten wurde. Dabei wurde bewusst darauf verzichtet, Italienisch als dritte Sprachoption anzubieten. Obwohl hier eine schweizweite Befragung durchgeführt wurde, wäre der Aufwand zu gross, die ganze Umfrage ins Italienische zu übersetzen und die erhaltenen Antworten ins Deutsche zurück zu übersetzen. Hinzu kommt, dass nur wenige Teilnehmende die Umfrage tatsächlich in Italienisch durchführen würden, da nur wenige Kontakte aus dem Tessin stammen. Der zusätzliche Zeitaufwand im Vergleich zum Ertrag wurde deshalb in diesem Fall als zu gering betrachtet.

Tab. 2: Vor- und Nachteile einer Online-Umfrage.

Vorteile	Nachteile
- Flexible Gestaltung der Umfrage	- Internetanschluss notwendig
- Geschwindigkeit der Verbreitung	- Technische Schwierigkeiten
- Kostensparend	- Anonymität
- Auswertungstools vorhanden	- Kein persönlicher Kontakt

Ein weiterer wichtiger Vorteil von Online-Umfragen ist die Geschwindigkeit und Effizienz, mit der die Umfrage durchgeführt werden kann. Das Internet ermöglicht die Zustellung der Umfrage in Echtzeit, unabhängig von der Distanz zum Teilnehmenden. Um den Rücklauf zu erhöhen, ist es ohne grossen Aufwand möglich, ein Erinnerungs-Email an diejenigen Leute zu schicken, welche die Umfrage noch nicht ausgefüllt haben. Der ganze Vorgang ist effizient und kostensparend. Es braucht weder einen Interviewer, der die Personen persönlich befragt noch Postgebühren, die bei brieflichen Umfragen nötig wären. Auch wird dadurch der Rücklauf erhöht, da die Teilnehmer beim Ausfüllen der Um-

frage nur einen geringen Aufwand haben. Zudem kann der Zeitpunkt des Ausfüllens individuell bestimmt werden und somit an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Ebenfalls zu erwähnen sind die technologischen Fortschritte einer Internetumfrage. Mit einem einfachen Link gelangt man auf die Umfrageplattform. Die vorhandenen Werkzeuge dort bieten bessere Optionen beim Gestalten der Fragen. Dank diversen Hilfsmitteln wie Bildern, Audio- oder Videodateien könnten anspruchsvollere Fragen gestellt werden. Bei den Fragetypen gibt es eine breite Auswahl, wie zum Beispiel Ja/Nein-Fragen, Multiple Choice-Fragen, Skalen-Fragen und mehr. Zusätzlich kann der Ablauf der Umfrage abhängig von vorher gegebenen Antworten gemacht werden und es ist möglich Fragen zu überspringen. Ausserdem wird die Auswertung der Fragebogen durch bereits vorhandene Auswertungstools vereinfacht (Evans und Mathur, 2005; Fielding u. a., 2008; Fricker und Schonlau, 2002).

Jedoch haben Online-Umfragen auch Nachteile. So kann die Umfrage nur von Leuten ausgefüllt werden, die einen Internetanschluss und eine Email Adresse haben. Dies kann zu einer Vorselektion der Teilnehmer führen, wenn zum Beispiel in einem Land bestimmte Bevölkerungsgruppen eher Zugang zum Internet haben als andere. Die Resultate der Umfrage wären dann nicht mehr charakteristisch für die Gesamtpopulation. Laut Fricker u. a. (2002) verringert sich dieser Nachteil sowieso zunehmend, da die Verbreitung der Internetanschlüsse ansteigt. Ein technisches Problem kann sein, dass das Email, mit welchem der Link versendet wird, direkt im Spam landet und den Teilnehmer gar nicht erreicht. Ferner ist es schwierig, die versprochene Anonymität zu gewährleisten. Oft werden Dateien in automatisch durchgeführten Backups gespeichert, ohne dass etwas dagegen unternommen werden kann. Man kann demnach für Online-Umfragen keine vollständige Anonymität garantieren, nur für den eigenen vertraulichen Umgang mit den Daten (Fielding u. a., 2008). Ein Nachteil auf sozialer Seite ist, dass bei Online-Befragungen der persönliche Kontakt gänzlich fehlt. Das macht es leichter, die Umfrage gar nicht zu beantworten oder nicht so viel Aufwand zu betreiben, wie man das bei einer persönlichen Umfrage machen würde (Evans und Mathur, 2005).

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Online-Umfrage durchgeführt, da die Vorteile die Nachteile bei Weitem überwiegen. Die Zielgruppe ist Computer-affin und mit Email erreichbar, da viele Unternehmen einen Webauftritt mit Kontaktinformationen haben.

#### **4.2.2. Tool „Umfrage online“**

Um die Online-Umfrage durchzuführen, wurde das Schweizer Online-Tool *Umfrage online* benutzt. Zum einen ist dies für Studierende kostenlos und zum anderen bietet es einige Vorteile beim Aufsetzen der Umfrage. So ermöglicht die Benutzeroberfläche die Auswahl von diversen Fragetypen aus einer Liste. Zusätzlich kann man Texte verfassen, Bilder hochladen, Logos einfügen und so die Umfrage selber gestalten. Mit der Funktion

Vorschau sieht man, wie die gesamte Umfrage aussehen wird. Auch das Verschicken des Fragebogens ist einfach. Für jede erstellte Umfrage erhält man einen Link, den man via Email, Facebook, Twitter oder andere soziale Medien verschicken kann. Die Teilnehmenden können mit allen Browsern an der Umfrage teilnehmen, und auch eine automatische Formanpassung an Smartphones oder Tablets ist gewährleistet. Des Weiteren sind erste Analysen der gesammelten Resultate möglich. Die Antworten jeder Frage werden mit Diagrammen, Mittelwerten, Standardabweichungen und anderen Parametern veranschaulicht. Die Antworten eines einzelnen Teilnehmers kann man im Detail untersuchen oder einen Filter für bestimmte Antworttypen einrichten (zum Beispiel Filter für alle Teilnehmer, welche die Frage 9 mit JA beantwortet haben). Eine weitere wichtige Funktion ist, dass man sämtliche Resultate als PDF oder als Excel- oder CSV-Datei herunterladen und somit weiter analysieren kann ([www.umfrageonline.ch](http://www.umfrageonline.ch)).

Im Vergleich zu anderen Umfrage-Tools, wie zum Beispiel *Survey monkey* hat *Umfrage online* die Anforderungen am besten erfüllt. Andere Tools bieten zwar teilweise mehr automatische Analysen der Resultate, sind aber kostenpflichtig. Da die von *Umfrage online* bereitgestellten Analysen für diese Umfrage durchaus ausreichen, wurde dieses Tool für die Umfrage benutzt.

#### 4.2.3. Verschiedene Fragetypen in der Umfrage

Die Formulierung und Gestaltung der Fragen sollte sorgfältig vorgenommen werden. Die Frage muss so formuliert werden, dass die Antwort gültig und verwertbar ist. Dazu gibt es einige Faustregeln zu beachten (Schnell u. a., 2005, S.334/335; Stier, 1999, S.178/179):

- Die Fragen möglichst kurz, einfach, neutral und präzise formulieren
- Keine Benutzung von Fremdwörtern und Abkürzungen in den Fragen
- Keine Verwendung von doppelter Verneinung
- Eindeutige Fragen stellen
- Keine Suggestivfragen verwenden
- Keine hypothetischen Fragen
- Es sollten balancierte Fragen gestellt werden. Das heisst, sowohl die positive als auch die negative Antwortmöglichkeit sollten in der Frage enthalten sein, um keine Antwort zu bevorzugen.
- Die Fragen sollten die Teilnehmenden nicht überfordern

In dieser Umfrage werden folgende Fragetypen verwendet: Offene Fragen, geschlossene Fragen, Ranking Fragen, Hybridfragen und Filterfragen. Die zwei Hauptfragetypen sind hierbei offene und geschlossene Fragen. Bei einer offenen Frage werden keine Antwortmöglichkeiten vorgeschlagen, sondern der Teilnehmer muss in eigenen Worten eine Antwort formulieren (Abb. 6) (Schnell u. a., 2005; Stier, 1999).

**Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie das Hochwasservolumen berechnen.**



Abb. 6: Beispiel einer offenen Frage mit leerem Antwortfeld.

Bei einer geschlossenen Frage hingegen sind die Antwortmöglichkeiten schon vorgegeben und der Teilnehmer muss eine oder mehrere davon auswählen. Bei diesen Fragetypen gibt es mehrere Versionen. Es gibt die sogenannten Alternativenvorgabe (Abb. 7a), bei der man zwischen „Ja/Nein“ oder ähnlichen Alternativen auswählen kann. Weiter gibt es geschlossene Fragen mit mehreren Antwortmöglichkeiten, entweder mit einer Rangierung (Abb. 7b) oder mit einer ungeordneten Mehrfachvorgabe (Abb. 7c) (Schnell u. a., 2005; Stier, 1999).

- a) **Des Weiteren ist es für uns interessant zu wissen, wie Sie mit Unsicherheiten im Hydrographen umgehen. Spielt Unsicherheit bei Ihrer Hochwasserabschätzung eine Rolle?**

- ja  
 nein

- b) **Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie die oben beschriebene Methode anwenden würden?  
 1 = sehr klein und 10 = sehr gross**

- |                              |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
| Anwendungswahrscheinlichkeit | <input type="radio"/> |

- c) **In was für einem Unternehmen arbeiten Sie?**

- Privates Unternehmen  
 Gemeindeverwaltung  
 Kantonale Verwaltung  
 Bund  
 Stiftung

Abb. 7: Beispiele geschlossener Fragen mit a) Alternativenvorgabe b) Rangierung c) ungeordneten Mehrfachvorgabe.

Die Vorteile von offenen Fragen liegen darin, dass der Befragte in seiner Antwort nicht beeinflusst wird und sein Wissen oder seine Meinung frei ausdrücken kann. Genau hier liegt die Gefahr bei geschlossenen Fragen. Durch Antwortvorschläge werden die Teilnehmer gezwungen, zwischen verschiedenen Alternativen auszuwählen, die nicht gezwungenermaßen ihrer Meinung entsprechen oder Antworten auszuwählen, an welche der Teilnehmer nicht von sich aus gedacht hätte. Allerdings muss bei offenen Fragen berücksichtigt werden, dass nicht alle Teilnehmer dieselbe Fähigkeit besitzen, ihre Meinungen präzise auszudrücken. Bei der späteren Analyse muss demzufolge die wesentliche Botschaft aus der Antwort herausgefiltert werden. Dieser Vorgang ist allerdings subjektiv geprägt. Des Weiteren ist der ganze Auswertungsvorgang mit Mehraufwand verbunden, da Antwortmuster gesucht werden müssen, um die Antworten kategorisieren zu können. In dieser Umfrage wurden offene Fragen hauptsächlich angewendet, wenn geringes Vorwissen über mögliche Antworten vorhanden war oder wenn es besonders wichtig war, einen Einblick in die einzelnen Haltungen der Teilnehmenden zu erhalten. Geschlossene Fragen wurden öfters benutzt, da diese gut auswertbar und untereinander vergleichbar sind, auch wenn dabei gegebenenfalls Feinheiten verloren gehen (Schnell u. a., 2005; Stier, 1999).

Um die Vorteile beider Hauptfragetypen zu kombinieren, wurden oft auch Hybridfragen gestellt. Hybridfragen sind eine Mischung aus offener und geschlossener Frage. Das heisst, es wird eine Frage mit mehreren Antwortmöglichkeiten gestellt, wobei ein Feld „Anderes“ hinzuzufügt wird, bei welchem eine eigene Antwort hingeschrieben werden kann (Abb. 8). Des Weiteren wurden in der Umfrage auch Filterfragen verwendet. Dies sind Fragen, welche zwei- oder mehrstufig aufgebaut sind. Wird die erste Frage verneint, werden weitere Fragen mit Bezug zur ersten Frage automatisch übersprungen. Als Beispiel dazu dient die Frage in Abb. 7a, bei deren Verneinung die weiteren Fragen zum Thema Unsicherheit automatisch übersprungen werden (Schnell u. a., 2005; Stier, 1999).

**Welches Konfidenzintervall verwenden Sie?**

- 95% - Konfidenzintervall
- 90% - Konfidenzintervall
- Anderes

Abb. 8: Beispiel einer Hybridfrage.

Zusätzlich zu den verschiedenen Fragetypen spielt auch der Aufbau der Umfrage eine Rolle. Die Reihenfolge der Fragen kann einen direkten Einfluss auf deren Beantwortung haben, einen sogenannten *Ausstrahlungseffekt*. Dieser äussert sich dadurch, dass einer-

seits die Fragen in Zusammenhang mit der vorherigen Frage gestellt werden und andererseits, dass die Teilnehmer sich bemühen möglichst konstant zu antworten. In dieser Umfrage wurde der Ausstrahlungseffekt bewusst angewendet, um durch Folgefragen einen gewissen Kontext aufzubauen und von dort aus immer mehr ins Detail zu gehen (Schnell u. a., 2005; Stier, 1999).

Zu Beginn der Umfrage erscheint zunächst ein Einleitungstext sowohl in Französisch als auch in Deutsch, um das Ziel der Umfrage und deren Ablauf zu erklären. Als nächstes kann die Sprache ausgewählt werden, mit der die Umfrage beantwortet wird, bevor die Fragen starten. Wird ein neues Thema angesprochen, erscheint zuerst ein sogenannter Überleitungstext, welcher eine kleine Einführung in das neue Thema gibt. Zusätzlich soll durch spezifische Filterfragen eine mögliche overcoverage verhindert werden. So muss in der ersten Hälfte der Umfrage die Frage beantwortet werden, ob der Teilnehmer selber Hochwasserberechnungen durchführt. Wird diese Frage verneint, ist die Umfrage für diesen Teilnehmer automatisch beendet. Zum Schluss können Kommentare und Anmerkungen zur Umfrage aufgeschrieben und die Email-Adresse bei Interesse an den Resultaten hinterlegt werden.

#### **4.2.4. Pretest**

Bevor die Umfrage gestartet werden kann, sollte ein Pretest durchgeführt werden, um die Fragen und den Ablauf zu überprüfen. So kann die Qualität der Umfrage getestet werden mit dem Ziel unvollständige, abgebrochene Umfrageantworten auf ein Minimum zu reduzieren. Dieser Vorgang gilt in der empirischen Forschung als unentbehrlich (Baur und Florian, 2009; Porst, 1998; Prüfer und Rexroth, 1996).

Durch den Pretest sollen folgende Punkte überprüft werden (Porst, 1998, S.35; Schnell u. a., 2005, S.347):

- Das Interesse der Teilnehmer gegenüber den Fragen/ der ganzen Umfrage
- Klarheit der Fragen
- Schwierigkeitsgrad der Fragen
- Fragenanordnung
- Aufbau des Kontextes
- Fehlerfreie Funktion der Filterführung
- Technische Probleme
- Zeitaufwand der Umfrage

Zur Durchführung eines „klassischen Pretests“ empfiehlt es sich laut Literatur circa 20-100 Leute aus der Stichprobe zu befragen (Lavrakas, 2008; Porst, 1998). Da für diese Umfrage nur eine kleine Grundgesamtheit vorhanden ist, wurde auch die Menge der für den Pretest zu Befragenden stark reduziert. In einem ersten Schritt wurde die Umfrage

mehrmals mit den Betreuern besprochen, bevor dann drei Firmen per Zufallsprinzip für den Pretest ausgewählt wurden. Diesen drei Firmen wurde die Umfrage zugeschickt mit der Bitte, dass sämtliche Mitarbeiter, die mit Hochwasserberechnungen zu tun haben, diese ausfüllen. Die Umfrage wurde auch an einen Experten der Abteilung Hydrologie des BAFU zum Durchsehen geschickt. Versendet wurde die Anfrage mittels einer Email, welche ein kurzer Erklärungstext und den Link zur Umfrage enthielt.

Die Resultate zeigten, wie wichtig die Durchführung des Pretest war. Die erste Erkenntnis war, dass es bei den angefragten Leuten im ersten Moment nicht gelungen war, ein Interesse an der Umfrage zu wecken. Erst als telefonisch nachgefragt wurde und das Projekt kurz mündlich vorgestellt wurde, wurde die Umfrage dann auch ausgefüllt. Das Interesse der Teilnehmer an der Umfrage war also zunächst gering und konnte erst durch persönlichen Kontakt geweckt werden. Als Anpassung wurde in der Folge darauf geachtet, dass die Emails wenn möglich mit einer persönlichen Anrede erfolgten und nicht einfach an ein Sekretariat geschickt wurden. Bei den Kontakten, die direkt vom BAFU kamen wurde in der Email implizit erwähnt, dass deren Adressen vom BAFU stammten. Dadurch wurde die Bedeutung der Umfrage betont und der offizielle Eindruck unterstrichen. Um diesen weiter zu vergrößern, wurden die Emails künftig nicht von der privaten, sondern von der offiziellen Emailadresse der Universität verschickt. Durch diese Anpassungen konnte vermutlich das Interesse der kontaktierten Personen erhöht werden.

Die Fragen schienen mit wenigen Ausnahmen verständlich zu sein. Teilweise wurden von gleichen Teilnehmern verschiedene Fragen gleich beantwortet. Diese Fragen wurden dann angepasst und die Unterschiede hervorgehoben. Neben der Verständlichkeit waren die Fragen auch vom Schwierigkeitsgrad her geeignet. Auch mit der Reihenfolge der Fragen und dem damit verbundenen Aufbau des Kontextes gab es keine ersichtlichen Probleme. Allerdings wurden nach Besprechung der Resultate noch ein paar Fragen ergänzt. Die Filterfragen funktionierten einwandfrei, bei einigen wenigen anderen Fragen mussten aber technische Anpassungen vorgenommen werden. So konnten nicht immer mehrere Antworten angekreuzt werden, obwohl dies geplant gewesen wäre. Diese Fehlfunktionen wurden behoben. Als letztes wurde der im Email angekündigte Zeitaufwand von 15 auf 20 Minuten erhöht.

Nachdem die Umfrage an die Ergebnisse aus dem Pretest angepasst war, wurde die endgültige Umfrage an eine Kontaktperson im Bereich der Hydrologie in Frankreich geschickt, um die französische Version auf Fehler zu überprüfen. Danach konnte das Versenden an die verschiedenen Teilnehmenden beginnen.

#### **4.2.5. Kontakte**

Wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, wurden durch aktives Screening mit der Unterstützung des BAFU und dem Verein *Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN)* mehr als 600 Kontakte zusammen getragen. Der Verein FAN wurde zum Beispiel angeschrieben und gebeten, die Umfrage an ihre Mitglieder weiter zu leiten. Auch das BAFU erklärte sich bereit, eine Teilnehmerliste der Kommission Hochwasserschutz, Wasserbau und Gewässerpflege (KOHS), des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (SWV) und die jeweiligen kantonalen Anlaufstellen in Form einer Liste bereit zu stellen. Da solche Mitgliederlisten vertraulich sind, konnten diese nur dank persönlichen Anfragen von Experten innerhalb des Gebietes der Hochwasserabschätzung erhalten werden. Die Listen wurden demnach absolut vertraulich behandelt. Ergänzt wurden diese Kontakte mit Listen von anderen potentiellen Anwendern von Hochwasserberechnungen, die im Gespräch mit weiteren Fachleuten zusammengestellt wurden. Die verschiedenen Listen mussten untereinander abgeglichen werden, um mehrfache Anfragen möglichst zu vermeiden. Ganz war dies allerdings nicht möglich, da der Verein FAN seine Mitglieder selbst benachrichtigte. Zusätzlich kamen im Verlauf der Umfrage immer weitere Kontakte hinzu, da gewisse angeschriebene Unternehmen, die zwar selber keine Hochwasserberechnungen durchführten, mitteilten, an wen sie die Aufträge zur Hochwasserberechnungen weiterleiten. Diese konnten dann zusätzlich kontaktiert werden.

Insgesamt wurden 626 Personen und Firmen kontaktiert, wobei darauf geachtet wurde, dass immer eine persönliche Anrede in der Email stand, um so den Rücklauf zu erhöhen. Ursprünglich war geplant, dass alle Emails ungefähr zeitgleich verschickt werden. Dies konnte nicht vollständig umgesetzt werden und die Emails wurden in zwei Etappen gesendet. Von den 626 angeschriebenen Personen beantworteten 339 Personen die erste Frage der Umfrage.

### **4.3. Experteninterviews**

Ein Experteninterview wird so definiert, dass ein Experte zu seinem Wissen oder Können innerhalb seines spezifischen Fachgebietes interviewt wird. Es zeichnet sich dadurch aus, dass sachliches Interesse im Vordergrund steht und Zusammenhänge und Gegebenheiten innerhalb des Fachgebietes aufgezeigt werden (Mieg und Brunner, 2001).

#### **4.3.1. Auswahlkriterien**

Bei einem ersten Sichten der Resultate der Online-Umfrage wurde auf Auffälligkeiten innerhalb der Umfrage geachtet. Zum einen konnten dies unerwartete Antworten sein, oder auffällige Übereinstimmungen zwischen den verschiedenen Antworten. Ein Aspekt fiel in Zusammenhang mit der Beantwortung der dritten Forschungsfrage auf. Bei der

Frage nach der Zufriedenheit der Teilnehmer mit der von ihnen angewendeten Methode in Gebieten ohne Abflussmessungen gab es Antworten von 2 bis 10 (10 = grösste Zufriedenheit; Tab. 3). Auffallend war, dass einige Teilnehmer, die mit ihrer univariaten Methode nicht zufrieden waren (1 bis 3), dennoch die neue bivariante Methode nicht anwenden würden. Die Frage stellt sich, was an der bivariaten Methode geändert werden müsste, um die Anwendungswahrscheinlichkeit durch diese Leute zu erhöhen. Denn ein Interesse an einer besseren Methode scheint vorhanden zu sein. Eine persönliche Nachfrage bei den Teilnehmern nach den Gründen dieser Ablehnung ist für die Beantwortung der Forschungsfragen drei wichtig. Deshalb wurden zum einen diese Teilnehmer für ein Experteninterview ausgewählt und zum anderen auch Teilnehmer, die gegenteiliger Meinung und demnach sehr zufrieden mit ihrer Methode sind.

Insgesamt wurden vier Experteninterviews durchgeführt. Die ersten zwei Interviews wurden mit der Firma 1 und der Firma 2 gemacht, deren Teilnehmer nicht zufrieden mit der bisher verwendeten Methode waren (Tab. 3). Die Firma 1 würde die bivariante Methode mit grosser Wahrscheinlichkeit anwenden. Eine genaue Erläuterung dazu, was die bivariante Methode besser als ihre angewendete Methode macht, ist bei dieser Firma interessant. Die Firma 2 wird allerdings auch die bivariante Methode eher nicht anwenden. Bei dieser Firma ist die Frage nach den Bedürfnissen und Voraussetzungen für eine Hochwasserberechnungsmethode lohnend. Die zwei anderen Interviews wurden mit Firmen durchgeführt, die mit der eigenen Methode sehr zufrieden sind. Firma 3 nahm bei der Frage nach der Anwendungswahrscheinlichkeit der bivariaten Methode eine neutrale Stellung ein. Bei dieser Firma konnte nachgefragt werden, ob Verbesserungsvorschläge für eine bivariante Methode vorhanden sind. Bei der Firma 4 war die Anwendungswahrscheinlichkeit gering, deshalb sind die Gründe dafür wahrscheinlich hilfreich für eine Beantwortung der Forschungsfrage. Zusätzlich sind bei den Firmen 3 und 4 Informationen über die eigene Methode von Interesse.

Ein weiterer Aspekt bei der Auswahl der Interviewpartner war die durchschnittliche Dauer einer Hochwasserberechnung, die bei den vier Firmen variiert. Hier ist es spannend zu sehen, welcher Zusammenhang zwischen der Dauer und der angewendeten Methode besteht (Tab. 3).

Tab. 3: Übersicht über die vier Firmen der Experteninterviews.

	<b>Firma 1</b>	<b>Firma 2</b>	<b>Firma 3</b>	<b>Firma 4</b>
<b>Zufriedenheit mit eigener Methode</b> (1 = nicht zufrieden; 10 = sehr zufrieden)	2	2	10	10
<b>Anwendungswahrscheinlichkeit der bivariaten Methode</b> (1 = sehr klein; 10 = sehr gross)	9	3	5	2
<b>Häufigkeit von Hochwasserberechnungen</b> (täglich, wöchentlich, monatlich, jährlich, nie)	monatlich	monatlich	täglich	monatlich
<b>Durchschnittliche Dauer einer Hochwasserberechnung</b> (<15', 15-30', 30-60', 1-5h, -1d, 1-7d, >1 Woche)	1 - 5h	30 - 60'	>1 Woche	30 - 60'

Mit der Auswahl dieser vier Firmen ist ein Überblick über die verschiedenen Meinungen zur bivariaten Methode im Zusammenhang mit der Zufriedenheit der eigenen Methode gegeben. Um die Vergleichbarkeit der Resultate zu gewährleisten, wurde bei der Auswahl der Firmen darauf geachtet, dass es sich bei allen um private Firmen handelt. Zusätzlich wurden Firmen ausgewählt, die mindestens einmal im Monat Hochwasserberechnungen durchführen. So sollte sichergestellt werden, dass die Anwender grosse Erfahrung haben (Tab. 3).

#### 4.3.2. Vorbereitung

Bevor ein Experteninterview durchgeführt wird, sollte man sich zum einen mit dem Fachgebiet vertraut machen und zum anderen einen Leitfaden für das Interview vorbereiten. Die Vertrautheit mit dem Fachgebiet war in meinem Fall gegeben und konnte durch Einlesen in die verschiedenen Projekte der einzelnen Firmen ergänzt werden. Ein Leitfaden wurde insofern erstellt, als die Fragen für eine bessere Übersicht aufgeschrieben wurden. Weiter wurde überlegt, was von den Antworten erwartet wird und welche Forschungsfragen damit beantwortet werden sollen. Dieser schriftliche Leitfaden wurde mit dem Betreuer besprochen, um allfällige Probleme schon im Voraus ausfindig zu machen. Das Interview wurde aufgezeichnet, um sich bei der späteren Auswertung nicht einzig auf die Erinnerung stützen zu müssen. Zusätzlich wurde ein handgeschriebenes Protokoll mit den wichtigsten Aussagen geführt (Liebold und Trinczek, 2009; Mieg und Brunner, 2001).

## 5. Resultate und Diskussion

### 5.1. Online-Umfrage

#### 5.1.1. Teilnehmerzahl

Die genaue Anzahl Teilnehmer ist nicht genau zu definieren. Zu Beginn mussten vier Teilnehmer herausgenommen werden, da sie nicht in der Schweiz arbeiten. Neun weitere Teilnahmen wurden als ungültig erklärt, da die Frage nach ihrem Arbeitsort und in der Folge weitere Fragen nicht beantwortet wurden. Des Weiteren gaben acht Teilnehmer bei der Frage 10 an, dass sie nie Hochwasserabschätzungen durchführen, worauf diese Teilnehmer ebenfalls ausgeschlossen wurden. Das ergab ein Total von 318 Teilnehmern, welche die erste Frage beantworteten, bei der zweiten Frage waren es aber nur noch 237, ein Rückgang von 25 %. Auch bei den nachfolgenden Fragen variiert die Teilnehmeranzahl (Abb. 9).

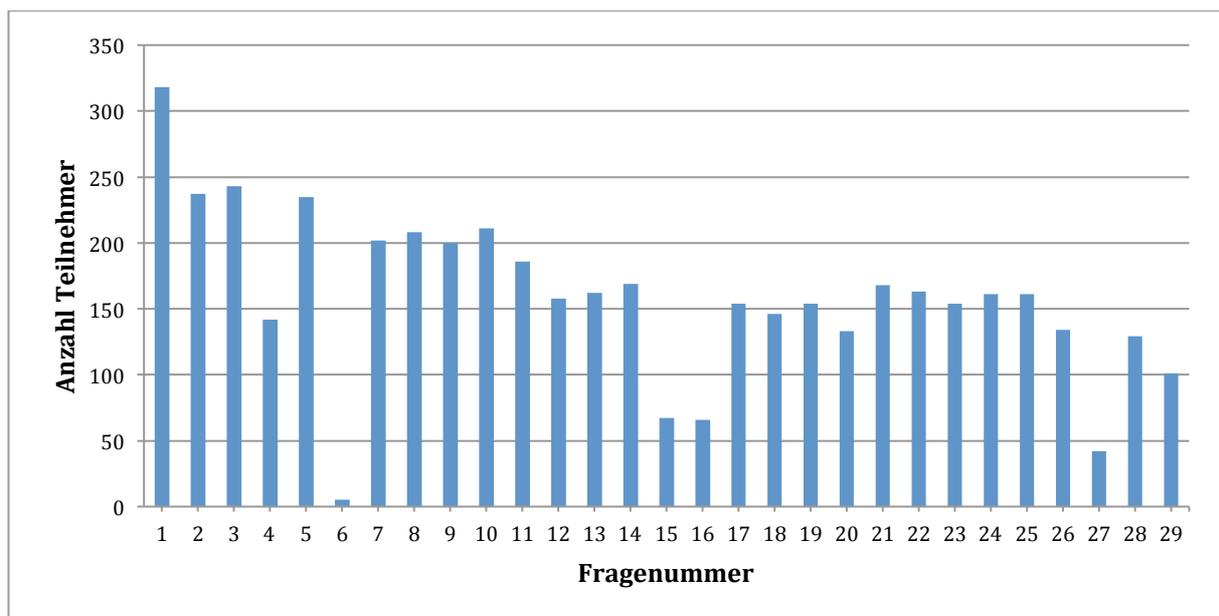


Abb. 9: Teilnehmeranzahl pro Fragennummer.

Die Einbrüche der Teilnehmeranzahl bei den Fragennummern 4, 6, 15, 16, 26, 27 und 28 ist damit zu erklären, dass es sich bei diesen Fragen um Folgefragen handelt, welche deshalb nur ein Teil der Teilnehmer auszufüllen hatte. Bei der letzten Frage konnten Anmerkungen gemacht und die Email-Adresse hinterlegt werden. Deshalb ist die Teilnehmeranzahl auch bei dieser Frage geringer. Abbildung 9 zeigt, dass einige Teilnehmer die Umfrage frühzeitig abbrachen. Dies ist damit zu erklären, dass es im Vorhinein keine klaren Angaben gab, welche Institutionen und Personen Hochwasserabschätzungen durchführen. Da die Mehrzahl der angeschriebenen Personen sowohl in der Hydrologie tätig ist als auch mit Hochwasserabschätzungen arbeitet, haben wohl einige die Umfrage

begonnen und dann erst bei den detaillierten Fragen zu Hochwasserberechnungen bemerkt, dass sie selber zu wenig in diesem Themengebiet arbeiten. Einige meldeten sich bei mir und erklärten, dass Hochwasserabschätzungen an externe Firmen weitergeleitet werden.

Ein weiteres Problem war, dass innerhalb einer Firma des Öfteren nur eine Person, repräsentativ für die ganze Firma, die Umfrage ausfüllte. Zwar wurde im Erklärungstext zur Umfrage geschrieben, dass wenn möglich alle mit Hochwasserabschätzungen betrauten Personen einer Institution an der Umfrage teilnehmen sollten. Trotzdem haben sich einige Firmen dagegen entschieden.

Infolge der Schwankung der Teilnehmeranzahl bei den einzelnen Fragen ist es schwierig zu sagen, ob die Umfrage repräsentativ ist. Im Kapitel 4.1.5 wurde berechnet, dass die Umfrage repräsentativ ist, wenn zwischen 235 und 260 Personen daran teilnehmen. Da die erste Frage 318 Personen und die zweite Frage 237 Personen beantworteten, wird die Frage nach der Repräsentativität positiv bewertet.

### **5.1.2. Auswertung der Fragen**

Bei der Auswertung der einzelnen Fragen wurden die Ergebnisse mit Prozentangaben nach kaufmännischer Regel gerundet, um die Leserfreundlichkeit zu erhöhen. Somit kann es sein, dass die Summe der Anteile mehr als 100 Prozent ergibt. Die Werte 34.5 % und 65.5 % beispielsweise werden gemäss der Rundungsregel zu 35 % und 66 % gerundet und ergeben summiert 101 %.

Bei einigen Fragen sind mehrere Antworten möglich. Dadurch ist die Summe aller Prozentangabe ebenfalls höher als 100 %. Bei den offenen Fragen wurden die Antworten so gut wie möglich kategorisiert und zusammengefasst, um die Verständlichkeit der Resultate zu erhöhen. Die Antworten, die jeweils nur einmal aufgezählt wurden, werden nicht alle aufgelistet, da diese bei der Interpretation kaum ins Gewicht fallen.

#### **Frage Nr. 1**

*Bitte wählen Sie die Sprache aus, in der Sie den Fragebogen ausfüllen möchten.*

- *Deutsch*
- *Französisch*

Diese Frage beantworteten 318 Teilnehmer. Davon wählten 12.3 % die französischsprachige und 87.7 % die deutsche Variante (Abb. 10).

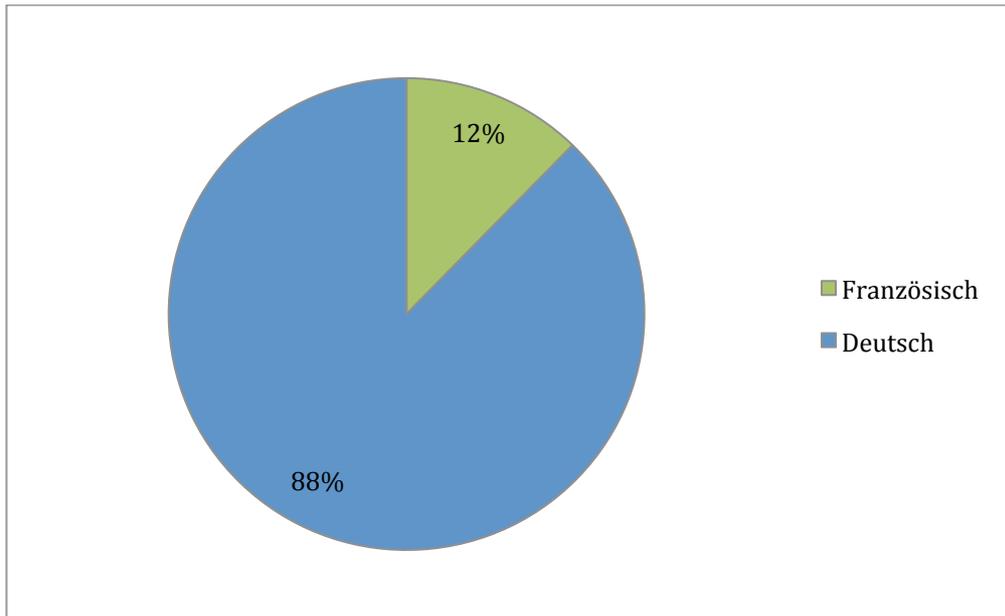


Abb. 10: Verteilung der Sprachauswahl [%].

## Frage Nr. 2

*Allgemeine Informationen zu Ihnen und Ihrem Arbeitsort*

- *Firmenname*
- *Postleitzahl*
- *Ort*

Den Teilnehmern wurde Anonymität garantiert. Deshalb wurden unter anderem die Firmennamen nur für interne Zwecke benutzt. Diese Frage beantworteten 237 Teilnehmer. Dabei kamen 199 Antworten aus der Deutschschweiz, 28 Antworten aus der Romandie, 9 Antworten aus der italienischen Schweiz und 1 Antwort aus der rätoromanischen Schweiz (Abb. 11).

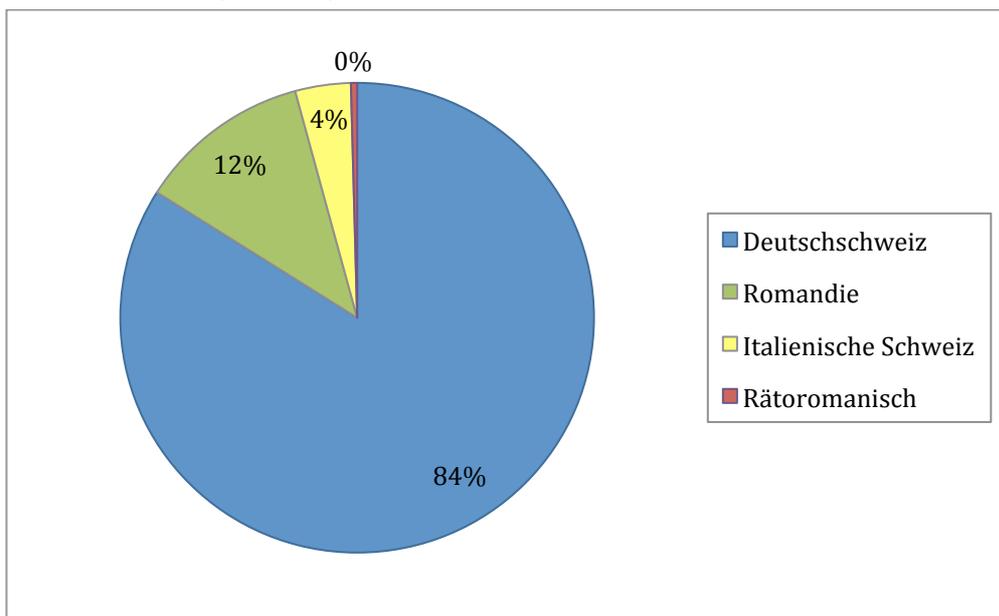


Abb. 11: Herkunft der Teilnehmer aufgeteilt in die vier Sprachregionen der Schweiz [%].

Die neun Antworten aus der italienischen Schweiz zeigen, dass auch das Tessin bei der Umfrage mitmachte, obwohl diese nicht auf italienisch durchgeführt werden konnte. Aus jedem Kanton wurde mindestens ein Teilnehmer registriert. Somit kann die Umfrage für die ganze Schweiz als repräsentativ betrachtet werden.

### Frage Nr. 3

*In was für einem Unternehmen arbeiten Sie?*

- *Privates Unternehmen*
- *Gemeindeverwaltung*
- *Kantonale Verwaltung*
- *Bund*
- *Stiftung*

Insgesamt haben 243 Personen die Frage beantwortet. 148 Teilnehmer arbeiten in einem privaten Unternehmen, 5 in einer Gemeindeverwaltung, 68 in einer kantonalen Verwaltung, 20 beim Bund und 2 bei einer Stiftung (Abb. 12).

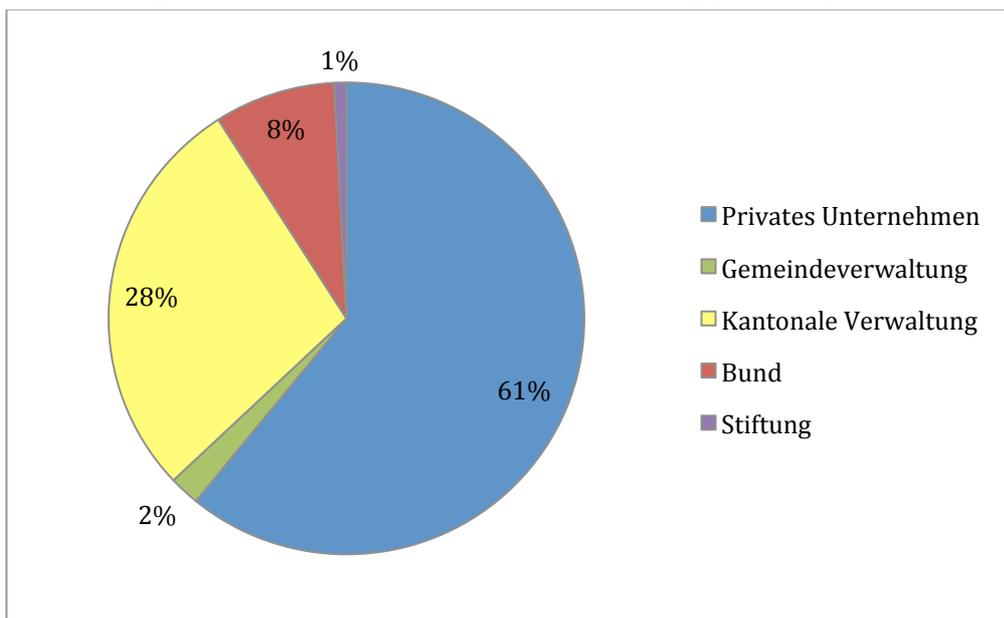


Abb. 12: Zugehörigkeit der Teilnehmer [%].

Aus Rückmeldungen wurde bekannt, dass einige Personen, die beim Bund oder bei einer kantonalen Verwaltung arbeiten, Hochwasserabschätzungsaufträge öfters an externe, private Firmen abgeben. Dies und der Fakt, dass kantonale Verwaltungen nur einmal pro Kanton vorkommen, erklärt den grossen prozentualen Anteil an privaten Unternehmen. Von den fünf Personen der Gemeindeverwaltung beantworteten nur drei alle Fragen. Hochwasserabschätzungen werden also eher selten auf Gemeinde Ebene vorgenommen.

**Frage Nr. 4**

*Was ist Ihr genaueres Arbeitsfeld? (Mehrere Antworten möglich)*

- *Naturgefahren*
- *Umweltingenieurwesen*
- *Hoch- und Tiefbau*
- *Wasserbau*
- *Natur- und Landschaftsschutz*
- *Anderes*

Diese Frage erschien nur bei denjenigen Teilnehmern, die bei der vorangegangenen Frage *Privates Unternehmen* geantwortet hatten. 142 Personen haben die Frage beantwortet. 84 % der Teilnehmer gaben Wasserbau als eines ihrer Arbeitsfelder an, 80 % Naturgefahren, 44 % das Umweltingenieurwesen, 29 % Hoch- und Tiefbau, 20 % Natur- und Landschaftsschutz und 10 % der Teilnehmer sind auch in einem weiteren Fachgebiet tätig (Abb. 13).

Bei den Antworten aus dem *Anderes* Feld schrieben drei Personen Raumplanung, zwei Forstwirtschaft, zwei Versicherung und drei erwähnten die Hydrologie im Allgemeinen. Weiter kamen vereinzelte spezifische Gebiete wie Talsperrenüberwachung dazu.

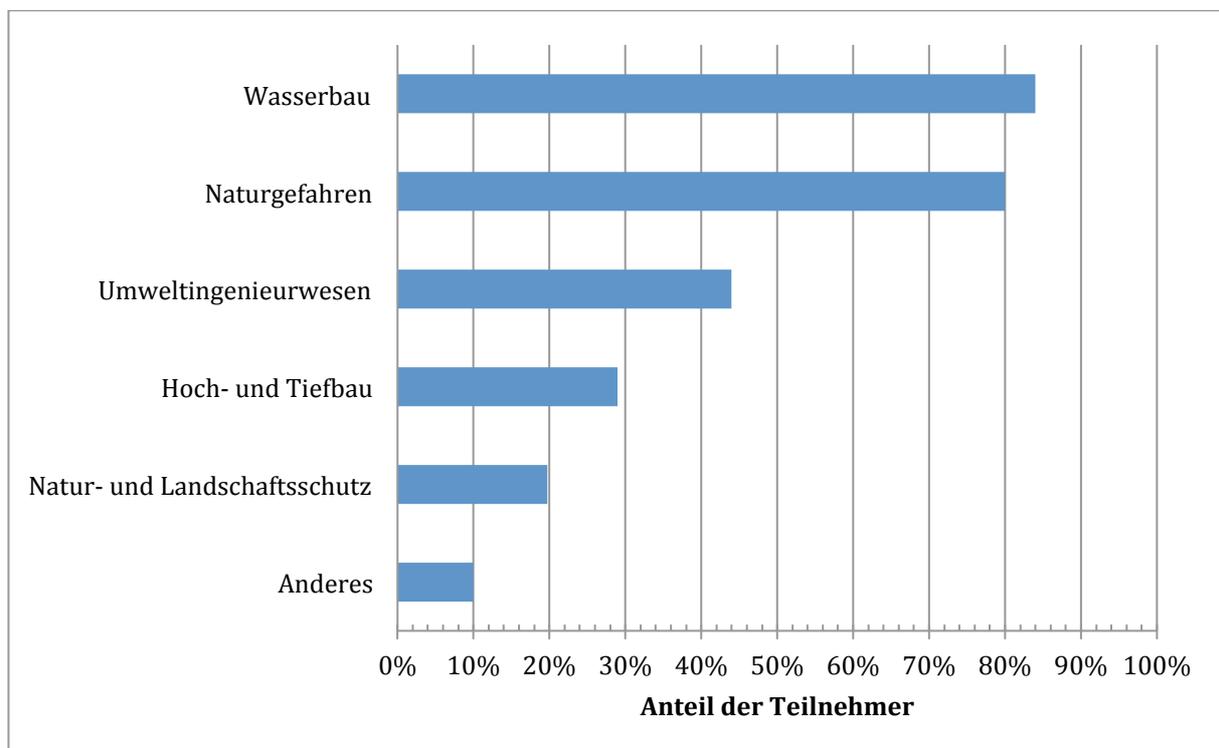


Abb. 13: Verteilung der Arbeitsfelder der Teilnehmer [%].

Wasserbau und Naturgefahren sind demnach die wichtigsten Arbeitsfelder, in denen Hochwasserabschätzungen durchgeführt werden. Potentielle Anwender der bivariaten

Methode sind gemäss dieser Frage vorwiegend in diesen beiden Arbeitsfeldern zu finden.

### Frage Nr. 5

*An welcher Institution haben Sie Ihr Wissen über Hochwasserabschätzungen und Hydrologie erworben? (Mehrere Antworten möglich)*

- *Universität*
- *Eidgenössische Technische Hochschule (ETH)*
- *Fachhochschule*
- *Berufslehre*
- *Weiterbildung*
- *Andere*

Total haben 235 Personen die Frage beantwortet. 56 % der Teilnehmer studierten an der ETH, 23 % an der Universität und 23 % an einer Fachhochschule. 4 % der Personen machten eine Berufslehre und 19 % eigneten sich das Fachwissen durch Weiterbildungen an. Eine andere Ausbildung haben 9 % der Teilnehmer gemacht. Davon gaben 14 Personen an, sich das Wissen über Hochwasserabschätzungen auch bei der Arbeit selber und durch Erfahrung angeeignet zu haben. Vier Personen lernten das Fachwissen an der WSL und je ein Teilnehmer durch ein Praktikum und durch ein privates Ingenieurbüro (Abb. 14).

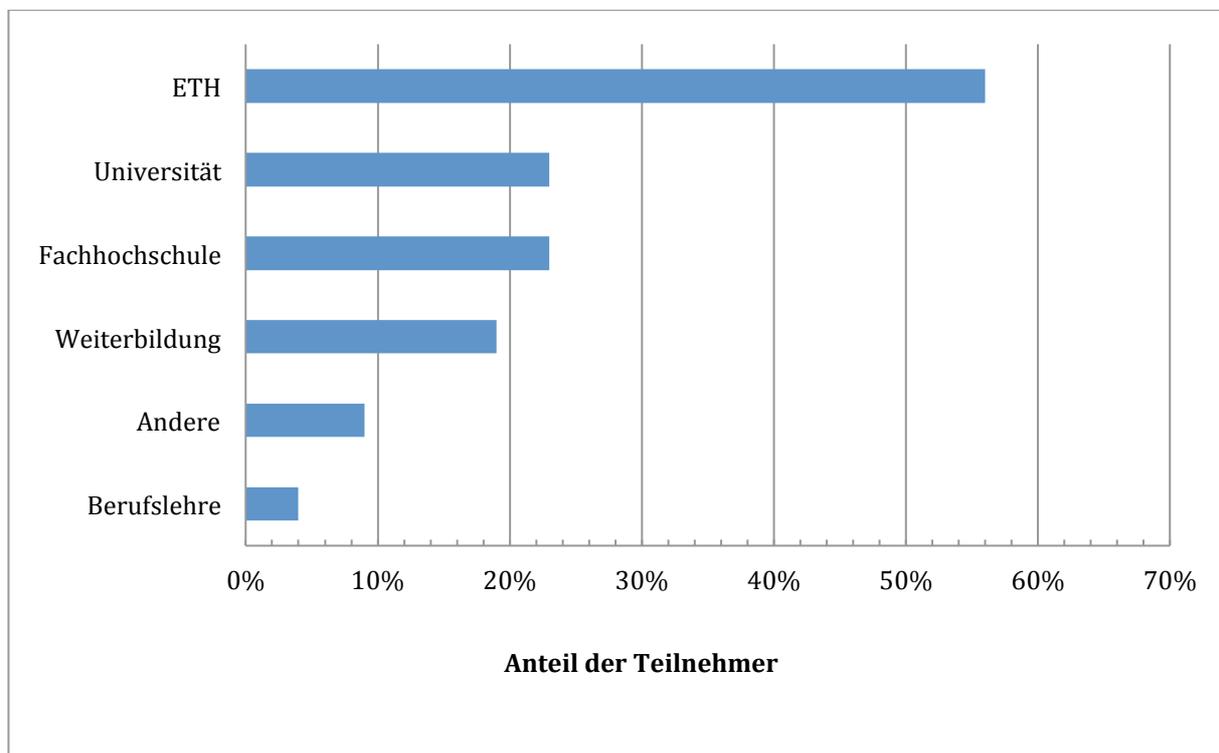


Abb. 14: Der Bildungshintergrund der Teilnehmer [%].

Die Resultate zeigen, dass die meisten Personen, die Hochwasserabschätzungen durchführen, an der ETH studiert haben. Einen etwa gleichwertigen Stellenwert nehmen Universitäten, Fachhochschulen und Weiterbildungen ein. Viele Teilnehmer haben mehrere dieser Ausbildungsvarianten gewählt. Berufslehre ist eher selten anzutreffen. Hochwasserabschätzungen sind zu spezifisch, als dass man diese häufig bei einer Lehre erlernt. Wichtiger als eine Berufslehre scheinen auch die Erfahrung und das Erlernen durch „learning by doing“.

**Frage Nr. 6**

*Was für eine Berufslehre haben Sie gemacht?*

Diese Frage erschien nur den Teilnehmern, die bei der vorherigen Frage *Berufslehre* ausgewählt haben. Hierbei handelt es sich um 5 Personen. Tiefbauzeichner wurde von 2 Teilnehmern erlernt und je ein Teilnehmer machte die Berufslehre als Forstwart, als Geomatiker und als Vermessungstechniker.

**Frage Nr. 7**

*Was für Produkte mit Bezug zu Hochwasser und Hochwasserabschätzungen bestellen die Auftraggeber bei Ihnen? (Mehrere Antworten möglich)*

Insgesamt beantworteten 202 Teilnehmer diese Frage. Die Antworten wurden zu 19 Gruppen zusammengefasst. Davon ausgenommen wurden ungültige Angaben (dazu gehören Antworten, welche die Frage nicht beantworten) und insgesamt neun verschiedene Antworten, welche weniger als 2 % der Gesamtheit ausmachen. Am häufigsten wurden allgemeine Hochwasserschutzmassnahmen (72 %) aufgeschrieben, gefolgt von Gefahren- und Intensitätskarten (48 %). Danach folgten Notfallplanung (29 %) und Gutachten und Beurteilungen (27 %). In der letztgenannten Gruppe wurden die Teilgruppen Objektschutzbeurteilung, Gefahrenbeurteilung und Beurteilung von Baugesuchen zusammengefasst. Mit 18 % folgt die Risikoanalyse und mit je 15 % Objektschutz und Revitalisierung- und Renaturierungsprojekte. Bei knapp über 10 % werden Wasserbauprojekte und Ereignisanalysen bestellt. Die restlichen Kategorien machten höchstens 10 % aus (Abb. 15).

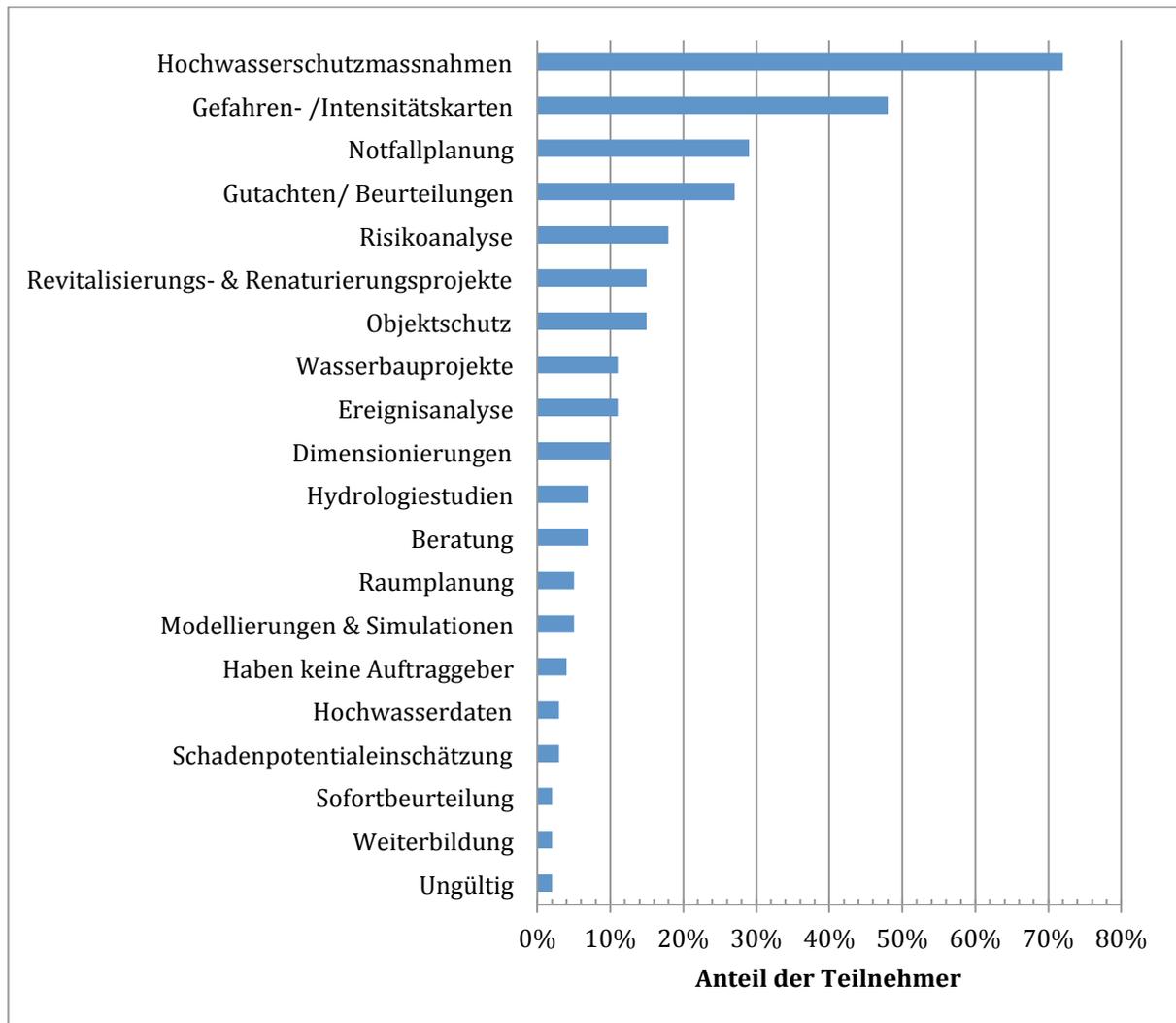


Abb. 15: Bei den Teilnehmern bestellte Produkte mit Bezug zu Hochwasser und Hochwasserabschätzungen.

### Frage Nr. 8

Was ist der Anwendungszweck dieser Produkte? (Mehrere Antworten möglich)

- Objektschutz
- Bauwerksanalyse
- Dimensionierung
- Gefahrenkarten/ Intensitätskarten
- Ökologie (z.B. Geschiebehaushalt)
- Anderer

208 Personen beantworteten diese Frage. Am meisten Teilnehmer benutzen die angeforderten Produkte für Dimensionierungen (88 %), gefolgt von Objektschutz (81 %), Gefahrenkarten/Intensitätskarten (72 %), Ökologie (50 %), Bauwerksanalyse (34 %) und andere Anwendungszwecke (12 %) (Abb. 16).

Bei den anderen Anwendungszwecken wurden Ereignisanalyse, Risikoanalyse und Wasserbau je drei Mal aufgeführt, weitere Anwendungen wie Energieproduktion, Plausibilisierung etc. wurden nur je einmal angegeben.

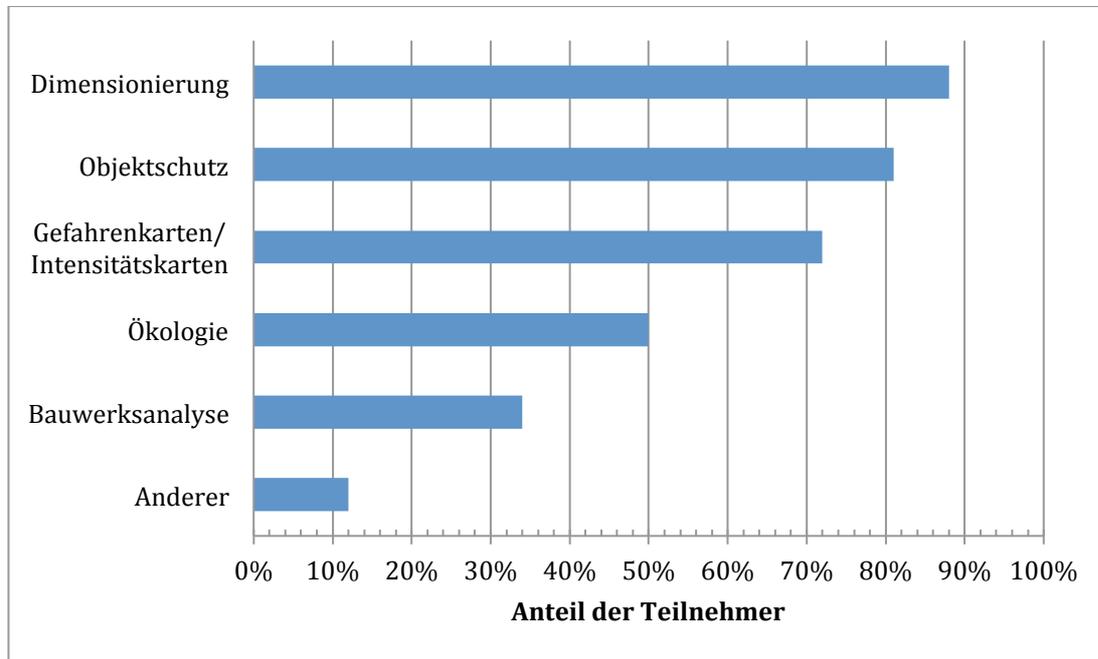


Abb. 16: Anwendungszweck der Produkte mit Bezug zu Hochwasserabschätzung [%].

Aus dieser Frage wird ersichtlich, dass Dimensionierungen zusammen mit Objektschutz und Gefahren- und Intensitätskarten die wichtigsten Anwendungsbereiche im Gebiet der Hochwasserabschätzung sind. Gerade bei Dimensionierungsarbeiten spielt nicht nur die Hochwasserspitze, sondern auch das Hochwasservolumen eine wichtige Rolle. Die Berücksichtigung des Volumens bei der neuen bivariaten Methode kann hier vorteilhaft sein.

**Frage Nr. 9**

*Welche Hydrograph-Charakteristika berücksichtigen Sie zur Berechnung von Hochwasser für die oben genannten Anwendungszwecke?*

	Objektschutz	Bauwerksanalyse	Dimensionierung	Gefahrenkarten/ Intensitätskarten	Ökologie	Anderer
Hochwasserspitze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hochwasservolumen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ereignisdauer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hydrographform	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anderes <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abb. 17: Abbildung der Frage 9.

Die Auswertung der Frage ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Hydrograph-Charakteristika, die bei der Hochwasserabschätzung berücksichtigt werden mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	Objekt- schutz		Bauwerk- analyse		Dimensio- nierung		Gefahren- karte/ Intensitäts- karte		Ökologie		Anderes		Total
	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	
<b>Hochwasserspitze</b>	154	77	77	39	167	84	146	73	76	38	21	11	641
<b>Hochwasservolumen</b>	70	35	47	24	153	77	118	59	42	21	15	8	445
<b>Ereignisdauer</b>	77	39	42	21	133	67	100	50	59	30	19	10	430
<b>Hydrographform</b>	44	22	31	16	108	54	81	41	40	20	14	7	318
<b>Abflusskoeffizient</b>					1	1					1	1	2
<b>Abflusstiefe</b>	1	1											1
<b>Bodeneigenschaft EZG</b>					1	1	1	1					2
<b>Druck</b>	1	1			1	1	1	1					3
<b>Fliessgeschwindigkeit</b>	3	2			2	1	2	1	2	1	1	1	10
<b>Geschiebetransport</b>	1	1	2	1	4	2	3	2	1	1			11
<b>Geschiebevolumen</b>	1	1	1	1	1	1	1	1					4
<b>Schwemmholz</b>	1	1	1	1	1	1	1	1					4
<b>Vorwarnzeiten, An- stiegsgeschwindigkeit</b>	1	1											1

200 Personen beantworteten diese Frage. Bei jedem Anwendungszweck ist die Hochwasserspitze diejenige Variable, welche am häufigsten berücksichtigt wird (Tab. 4). Beim Objektschutz und bei der Ökologie liegt die Ereignisdauer jeweils an der zweiten Stelle, gefolgt vom Hochwasservolumen und der Hydrographform. Bei der Berechnung von Dimensionierungen, bei Bauwerkanalysen und bei der Herstellung von Gefahren- oder Intensitätskarten ist die Reihenfolge anders. Das Hochwasservolumen liegt an zweiter Stelle, gefolgt von Ereignisdauer und Hydrographform. Aus dem Zusatzfeld kommen neun weitere Variablen dazu, die bei Hochwasserabschätzungen berücksichtigt werden. Das sind unter anderem Angaben zur Fliessgeschwindigkeit, zum Geschiebetransport und Geschiebevolumen oder zum Schwemmholzanteil. Die zusätzlichen Anwendungszwecke machen nur einen kleinen Teil der Teilnehmer aus, wobei wie bei allen anderen Kategorien die Hochwasserspitze am wichtigsten gewertet wird.

Bei der Analyse des Totals jeder Variable fällt auf, dass die Hochwasserspitze die am häufigsten benutzte Variable bei allen Anwendungszwecken ist. An zweiter Stelle folgt das Hochwasservolumen, dann die Ereignisdauer und an vierter Stelle die Form des Hydrographen. Eine genaue Abschätzung der Hochwasserspitze und des Hochwasservo-

lumens ist demnach wichtig für eine zuverlässige Einschätzung des Hochwassers. Aus den zusätzlichen Berechnungsvariablen wird keine auffallend oft genannt. Am meisten erwähnt wird der Geschiebetransport, aber auch diese Angabe nimmt mit gerade 11 Personen einen kleinen Anteil (6 %) an der Teilnehmeranzahl von 200 Personen ein.

### Frage Nr. 10

*Wie oft benutzen Sie Hochwasserabschätzungen/ -berechnungen bei Ihrer Arbeit?*

- *Täglich*
- *Wöchentlich*
- *Monatlich*
- *Jährlich*
- *Nie*

Gesamthaft beantworteten 211 Teilnehmer diese Frage. Täglich wenden 11 % der Teilnehmer Hochwasserabschätzungen an, wöchentlich 28 % der Teilnehmer, monatlich 42 % der Teilnehmer und jährlich 15 %. Vier Prozent der Teilnehmer wählten *Nie* aus und wurden somit gleich ans Ende der Umfrage umgeleitet und deren Antworten der bisherigen Fragen gelöscht (Abb. 18).

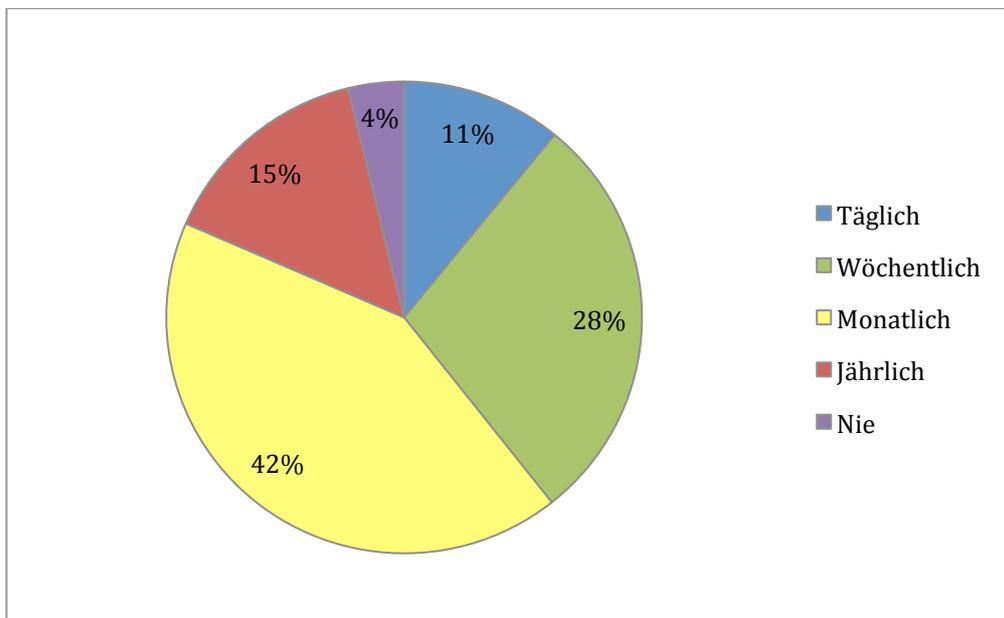


Abb. 18: Anwendungshäufigkeit von Hochwasserabschätzungen aller Teilnehmer [%].

Die Teilnehmer, welche täglich oder wöchentlich Hochwasserabschätzungen durchführen, sind besonders interessant. Von den 23 Personen, die täglich Hochwasserabschätzungen durchführen, arbeiten 12 Personen in kantonalen Verwaltungen, 9 bei privaten Unternehmen und 2 beim Bund. Dies zeigt, dass in kantonalen Verwaltungen relativ häufig Hochwasserabschätzungen durchgeführt werden. Dies ist auch bei den Teilnehmern zu sehen, welche wöchentlich Hochwasserabschätzungen durchführen. Hier sind

von den insgesamt 60 Teilnehmern 36 aus privaten Unternehmen, 22 von der kantonalen Verwaltung und 2 vom Bund. Mehr dazu im Kapitel 6.2. Die Häufigkeit alleine sagt allerdings noch nicht genügend aus. Es kommt auch darauf an, wie lange ein Teilnehmer für eine durchschnittliche Abschätzung benötigt. Dies wurde in der nächsten Frage abgefragt.

### Frage Nr.11

*Wie lange brauchen Sie durchschnittlich für Hochwasserabschätzungen/-berechnungen?*

- *Weniger als 15 Minuten*
- *15 – 30 Minuten*
- *30 – 60 Minuten*
- *1 – 5 Stunden*
- *½ - 1 Tag*
- *1 – 7 Tage*
- *länger als 1 Woche*

Diese Frage beantworteten 186 Teilnehmer. Die Mehrheit der Teilnehmer (37 %) benötigt durchschnittlich 1 bis 5 Stunden für eine Hochwasserabschätzung. Am zweit häufigsten (20 %) wird ½ bis 1 Tag dafür aufgewendet. 15 % brauchen länger als einen Tag und 28 % weniger als eine Stunde (Abb. 19).

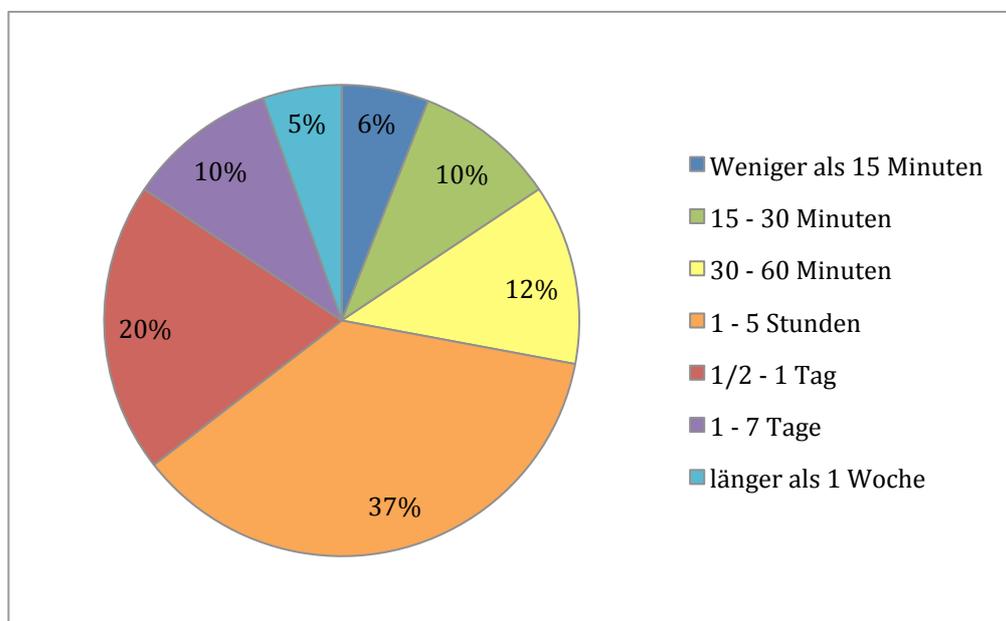


Abb. 19: Durchschnittlich aufgewendete Zeit für Hochwasserabschätzungen.

Es ist schwierig, anhand der durchschnittlichen Berechnungszeit auf die Qualität der Hochwasserabschätzung zu schliessen. Je mehr Zeit in die Abschätzung investiert wird, desto mehr Untersuchungen und Prüfungen der Variablen können gemacht werden. Auch eine Begehung des Einzugsgebietes, um sich selbst einen Eindruck von der Lage zu

machen, braucht Zeit. Des Weiteren können historische Quellen und Zeitzeugen vergangener Ereignisse gesucht und analysiert werden. Je länger eine Abschätzung allerdings dauert, desto teurer wird sie. Dies dürfte auch der Hauptgrund sein, weshalb wenig Teilnehmer durchschnittlich länger als 1 Tag für eine Abschätzung brauchen. Denn auch bei kürzerer Zeit kann die Berechnung qualitativ durchaus gut sein. Bei sehr kurzer Berechnungsdauer ist es allerdings wahrscheinlich, dass die Unsicherheiten zunehmen werden. Dadurch kann die geringe Teilnahme bei den Kategorien weniger als 15 Minuten und 15 bis 30 Minuten erklärt werden.

Es fällt auf, dass im Gegensatz zur vorherigen Frage 25 Personen weniger diese Frage nach der durchschnittlichen Zeit beantwortet haben. Diese Teilnehmer sind keiner spezifischen Antwort bei der Frage Nummer 10 zu zuordnen. An einem technischen Problem kann es demnach nicht gelegen haben. Es kann jedoch sein, dass diese Teilnehmer sehr unterschiedlich lang bei den Berechnungen haben und diese Frage deshalb ausgelassen haben.

### **Frage Nr. 12**

*Welche Methoden benutzen Sie für Hochwasserabschätzungen in Gebieten MIT Abflussmessungen?*

Insgesamt haben 158 Personen diese Frage beantwortet. Am meisten Teilnehmer benutzen die Extremwertstatistik, gefolgt vom Programm HAKESCH, von Niederschlags-Abfluss-Modellen und dem Programm HQx\_meso\_CH. Dem Programm HAKESCH wurde bei der Auswertung unter anderem die Methoden nach Kölla, nach Taubmann oder Fliesszeitverfahren zugeordnet. Beim Programm HQx\_meso\_CH wird zum Beispiel das Verfahren nach Kürsteiner, das Verfahren nach Kölla meso oder GIUB 96 eingegliedert. Rund 13 % gaben an, Abschätzungen nie oder nur selten in Gebieten mit Abflussmessungen zu machen (Abb. 20).

Es gab auch noch einige Methoden, die einmalig genannt wurden und keiner anderen Kategorie zugeordnet werden konnten. So zum Beispiel der Hydrologische Atlas der Schweiz (HADES) oder die Modelle BASEMENT, RAMMS und weitere Nennungen.

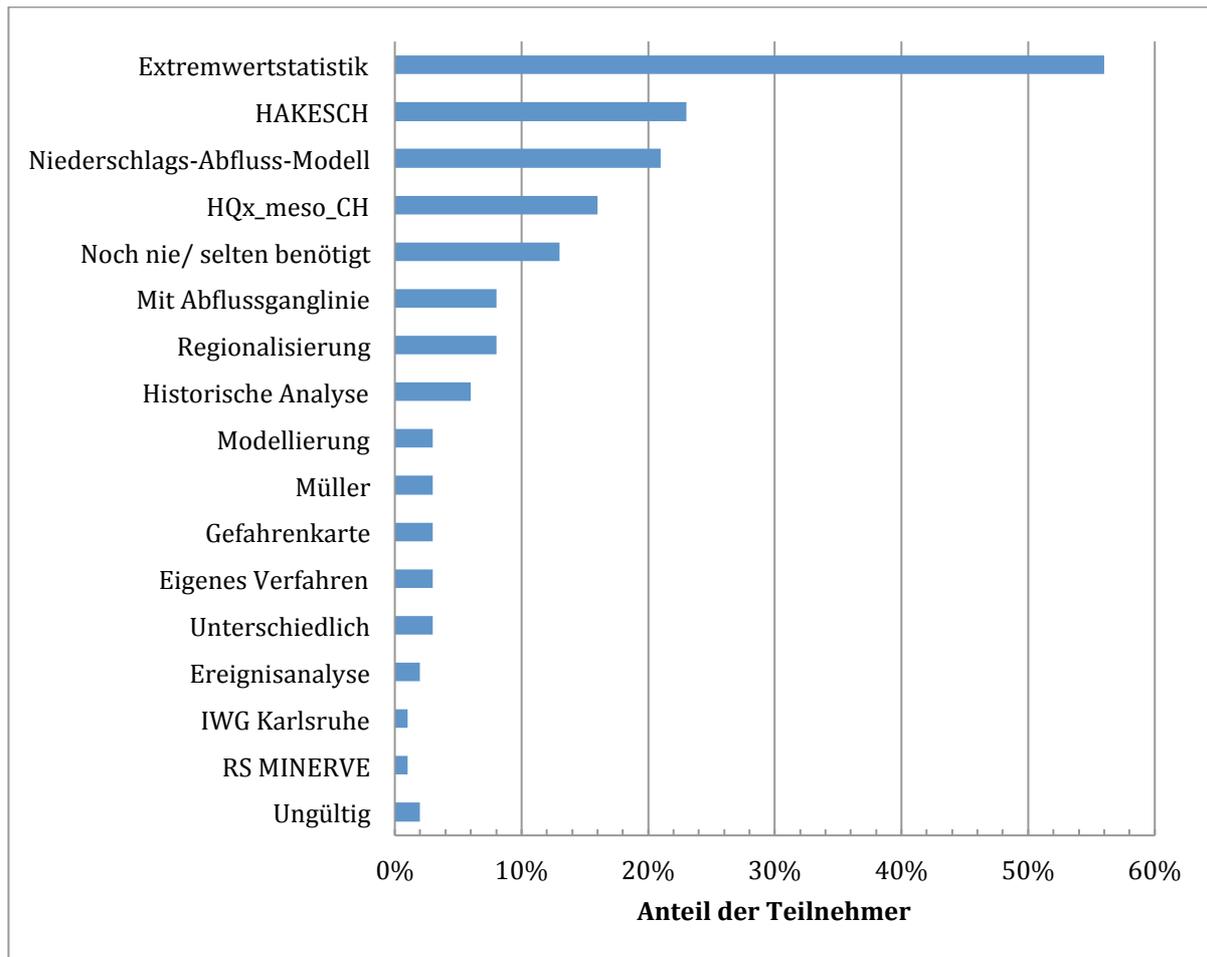


Abb. 20: Benutzte Methoden zur Hochwasserabschätzung in Gebieten mit Abflussmessungen [%].

Bei dieser offenen Frage trat die Schwierigkeit auf, dass einige Teilnehmer sehr allgemein geantwortet haben und zum Beispiel einfach das Programm erwähnten, welches sie benutzen. Andere Teilnehmer sind mehr in die Details gegangen und haben einzelne Verfahren innerhalb eines Programmes erwähnt. Zusammengefasst wurden die Antworten auf der höheren Ebene, um die Antworten besser gruppieren zu können. Extremwertstatistik ist die am meisten benutzte Methode in Gebieten mit Abflussmessungen. Indirekt können auch die Niederschlags-Abfluss-Modelle zur Extremwertstatistik gezählt werden, da durch die Modelle längere Abflusszeitreihen für den Einsatz der Extremwertstatistik simuliert werden können. Bei den Programmen werden HAKESCH und HQx\_meso\_CH am meisten benutzt. Aber auch bei diesen basieren die Niederschlagsdaten zum Teil auf Extremwertstatistiken. Diese ist demnach die zentrale Methode für Hochwasserabschätzungen in Gebieten mit Abflussmessungen.

Ansonsten fällt es auf, dass viele verschiedene Methoden und Programme verwendet werden. Erstaunlich ist, dass auch Regionalisierungsmethoden angewendet werden. Diese werden eigentlich nur in Gebieten benutzt, wo keine eigenen Messungen vorliegen. Einige Teilnehmer haben allerdings hinzugeschrieben, dass sie diese Methode nur

benutzten, um die erhaltenen Resultate mit Resultaten aus anderen Einzugsgebieten zu vergleichen.

### Frage Nr. 13

*Welche Methoden benutzen Sie für Hochwasserabschätzungen in Gebieten OHNE Abflussmessungen?*

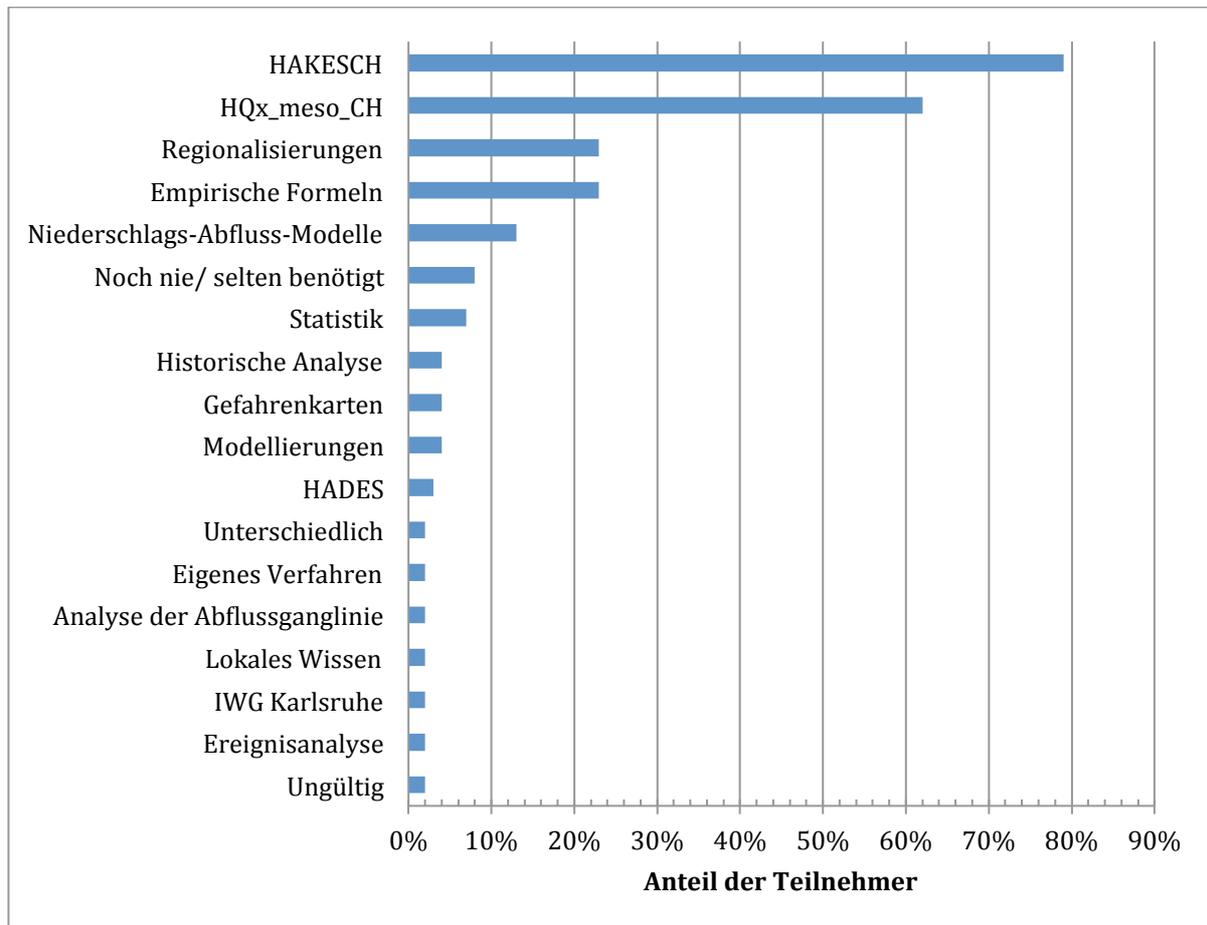


Abb. 21: Benutzte Methoden zur Hochwasserabschätzung in Gebieten ohne Abflussmessungen.

Insgesamt haben 162 Personen diese Frage beantwortet. Die Mehrheit der Teilnehmer benutzen die Software-Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH. Dem Programm HAKESCH wurde unter anderem die Methoden nach Kölla, nach Taubmann oder Fließzeitverfahren zugeordnet. Beim Programm HQx\_meso\_CH wird zum Beispiel das Verfahren nach Kürsteiner, das Verfahren nach Kölla oder GIUB 96 eingegliedert. Circa 23 % benutzen empirische Formeln und Regionalisierungsmethoden, gefolgt von Niederschlags-Abfluss-Modellen mit 13 % (Abb. 21).

Vereinzelt wurden verschiedene Programme wie SWMM, Zemekost und RAMMS aufgeschrieben oder auch Fachgutachten als Methode und weitere Verfahren.

In Gebieten ohne Abflussmessungen sind die beiden Software-Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH die klar am häufigsten benutzten Methoden. Da hier keine eigenen

Messungen vorliegen, ist es einfacher die Programme zu benutzen. So können die verschiedenen Resultate miteinander verglichen und analysiert werden. Empirische Formeln können auch den Regionalisierungsmethoden zugeordnet werden. Zusammen werden diese auch von einem grossen Prozentsatz der Teilnehmer benutzt. Wie schon bei den Gebieten mit Abflussdaten gibt es auch bei dieser Frage viele verschiedene und spezifische Methoden.

#### Frage Nr. 14

*Welche Angaben stellen Sie als Hochwasserabschätzung zur Verfügung? (Mehrere Antworten möglich)*

- *Hochwasserspitze*
- *Hochwasservolumen*
- *Ereignisdauer*
- *Hydrographform*
- *Andere*

Total haben 169 Personen diese Frage beantwortet. Am häufigsten wird die Hochwasserspitze zur Verfügung gestellt (95 % der Teilnehmer). Danach kommt das Hochwasservolumen (49 %), die Ereignisdauer (47 %) und die Hydrographform (36 %). Zwölf Personen geben noch zusätzliche Angaben (Abb. 22).

Bei den anderen Antworten gaben fünf Personen an *keine Angaben* zu machen. Die anderen sieben Antworten wurden jeweils nur einmalig genannt. Hier waren zum Beispiel Dimensionierung, Schadenausmassschätzung und Geschiebetransport mit dabei.

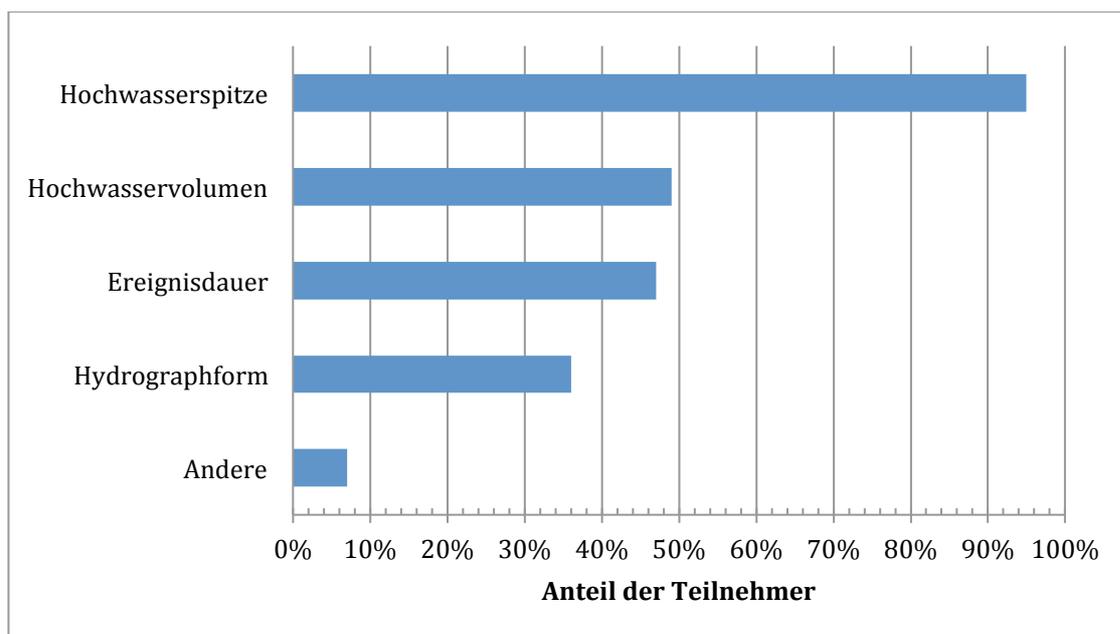


Abb. 22: Von den Teilnehmern für die Hochwasserabschätzung zur Verfügung gestellte Angaben.

Es überrascht wenig, dass 95 % der Teilnehmer die Hochwasserspitze zur Verfügung stellen. Dieses Mass ist am gängigsten bei Hochwasserabschätzungen. Von den 5 %, welche nicht die Hochwasserspitze wählten, stellen 3 Teilnehmer das Hochwasservolumen, je ein Teilnehmer die Ereignisdauer und die Hydrographform und 4 Teilnehmer andere Angaben zur Verfügung.

Überraschend ist, dass 49 % auch das Hochwasservolumen angeben. Das Hochwasservolumen ist bei einigen Bauwerken wie zum Beispiel Dimensionierungsarbeiten, sehr wichtig. Doch gibt es bis anhin wenige Methoden, womit das Volumen der Wassermenge berechnet werden kann. Deshalb ist die nächste Frage nach der Berechnung des Hochwasservolumens interessant.

### Frage Nr. 15

*Beschreiben Sie bitte kurz, wie Sie das Hochwasservolumen berechnen.*

Diese Frage konnten nur die Teilnehmer beantworten, welche bei der vorherigen Frage *Hochwasservolumen* gewählt haben. Deshalb haben nur 67 Teilnehmer an dieser Frage teilgenommen. Am häufigsten wird eine gebietspezifische Ganglinie benutzt, gefolgt von der Anwendung einer Dreiecksganglinie und einem Niederschlags-Abfluss-Modell. Alle übrigen Antworten erfolgten einmalig. Einige Programme wie zum Beispiel SWMM, Crux++ oder Zemekost wurden erwähnt (Abb. 23).

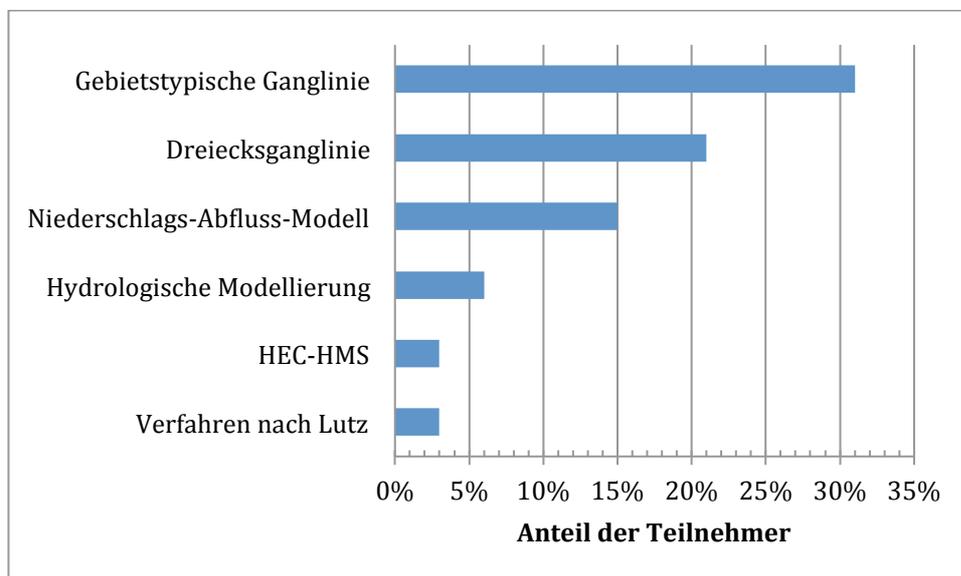


Abb. 23: Prozentuale Verteilung der Berechnungsmethoden des Hochwasservolumens.

### Frage Nr. 16

*Wie bestimmen Sie die Jährlichkeit des Hochwasservolumens?*

- *Gleich wie die Hochwasserspitze (Unter der Annahme, dass die Jährlichkeit des Hochwasservolumens jener der dazugehörigen Hochwasserspitze entspricht)*
- *Anders*

Nur die Teilnehmer, die bei der Frage Nummer 14 *Hochwasservolumen* gewählt haben, erhielten diese Frage zur Beantwortung. 66 Personen haben daran teilgenommen. 62 % davon gaben an, die Jährlichkeit des Hochwasservolumens gleich wie die Hochwasserspitze zu berechnen und 38 % der Teilnehmer berechnen dieses anders (Abb. 24).

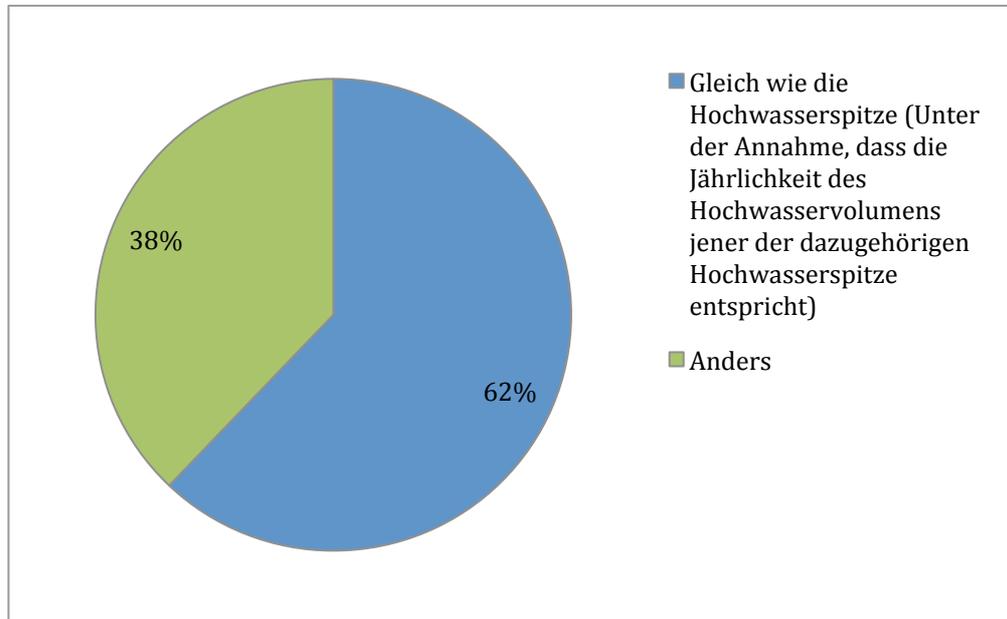


Abb. 24:Prozentuale Verteilung der Berechnung der Jährlichkeit des Hochwasservolumens.

Die Antworten aus dem Feld *Anders* waren sehr unterschiedlich. Lediglich *Statistische Analyse* wurde von drei Teilnehmern gewählt und *Anhand einer Ganmlinie* von vier Teilnehmern. Die übrigen Antworten wurden jeweils nur einmal hingeschrieben.

**Frage Nr. 17**

*Wie zufrieden sind Sie mit der von Ihnen gegenwärtig am häufigsten angewendeten Methode zur Hochwasserabschätzung in Gebieten OHNE Abflussmessungen?*

*1 = gar nicht zufrieden und 10 = sehr zufrieden*

Tab. 5: Zufriedenheit der Teilnehmer mit ihrer Methode zur Hochwasserabschätzung in Gebieten ohne Abflussmessungen (1 = *gar nicht zufrieden* und 10 = *sehr zufrieden*) mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Ø
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	
<b>Methode</b>	0	0	7	5	15	10	7	5	31	20	23	15	36	23	26	17	5	3	4	3	6

Von den 154 Teilnehmern ist niemand *gar nicht zufrieden* mit seiner Methode. 5 % der Teilnehmer bewerten diese allerdings mit der zweittiefsten Kategorie (2). Zwanzig Prozent der Teilnehmer sind mit ihrer Methode weder unzufrieden, noch zufrieden und

wählen die Kategorie 5. Die beiden höchsten Kategorien (9 und 10) wählen 6 %. Das arithmetische Mittel ( $\emptyset$ ) liegt bei 6 (Tab. 5).

Von den 154 Teilnehmern beurteilen 94 Teilnehmer (61 %) ihre Methode positiv und nur 29 Teilnehmer (19 %) negativ. Werden die neutraleren Meinungen weggelassen und die Kategorien 1 bis 3 und 8 bis 10 zusammengefasst und auf weitere Gemeinsamkeiten untersucht, fallen keine grossen Gemeinsamkeiten auf, weder in der Häufigkeit der Hochwasserabschätzungen noch in der durchschnittlichen Anwendungszeit. Auch der Arbeitsort der Teilnehmer unterscheidet sich nicht signifikant bei diesen beiden Kategorien. Es lässt sich demnach kein Schluss ziehen, ob eine bestimmte Gruppe von Anwendern eher zufrieden oder eher unzufrieden mit der Methode für Gebiete ohne Abflussmessungen ist. Mit dem durchschnittlichen Zufriedenheitswert von 6 gibt es allerdings Luft nach oben. Die Nachfrage nach einer besseren Methode ist vorhanden.

**Frage Nr. 18**

*Wie zufrieden sind Sie mit der von Ihnen gegenwärtig am häufigsten angewendeten Methode zur Hochwasserabschätzung in Gebieten MIT Abflussmessungen?*

*1 = gar nicht zufrieden und 10 = sehr zufrieden*

Diese Frage haben 146 Personen beantwortet. Niemand der Teilnehmer ist *gar nicht zufrieden* mit der angewendeten Methode in Gebieten mit Abflussmessungen. Drei Prozent der Teilnehmer wählten allerdings die zweittiefste Kategorie (2). Sechs Prozent der Teilnehmer sind weder unzufrieden noch zufrieden mit der Methode und wählten die 5. Die Mehrheit der Teilnehmer wählte die positive Seite. Die zwei höchsten Kategorien (9 und 10) wählten 15 % der Teilnehmer. Das arithmetische Mittel liegt bei 7 (Tab. 6).

Tab. 6: Zufriedenheit der Teilnehmer mit Ihrer Methode zur Hochwasserabschätzung in Gebieten mit Abflussmessungen (1 = *gar nicht zufrieden* und 10 = *sehr zufrieden*) mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		∅
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%			
<b>Methode</b>	0	0	4	3	6	4	5	3	9	6	15	10	41	28	44	30	13	9	9	6	7

Diese Frage zeigt, dass die Teilnehmer zufriedener sind mit ihrer Methode in Gebieten mit Abflussmessungen als in Gebieten ohne Messungen. Von den 146 Teilnehmern beurteilen 122 Teilnehmer (84 %) ihre Methode positiv und nur 15 Teilnehmer (10 %) negativ. Die meisten Teilnehmer, welche die höchste Kategorie (10) gewählt haben, führen relativ oft Hochwasserabschätzungen durch und nehmen sich auch lange Zeit für die Berechnung, da detaillierte Analysen durchgeführt werden. Bei den Teilnehmern, die nicht zufrieden sind mit ihrer Methode, zeigten sich keine signifikanten Gemeinsamkeiten.

**Frage Nr. 19**

*Wo sehen Sie Schwachstellen (Unsicherheiten) in dieser von Ihnen am häufigsten angewendeten Methode in Gebieten OHNE Abflussmessungen? (Mehrere Antworten möglich)*

- *Bei der Auswahl der Extremwertverteilung*
- *Bei den Parametern der Verteilungsfunktion*
- *Bei den Parametern beim prozessbasierten Modell*
- *Mangelnde, unvollständige Dokumentation*
- *Grosser Aufwand zur Berechnung*
- *Andere*

Es haben 154 an dieser Frage teilgenommen. Am meisten Schwachstellen sehen die Teilnehmer bei den Parametern des prozessbasierten Modells (55 % der Teilnehmer), gefolgt von mangelnder, unvollständiger Dokumentation (42 %). Darauf folgen die Schwachstellen bei der Auswahl der Extremwertverteilung (32 %), die Schwachstellen beim grossen Aufwand zur Berechnung (26 %) und bei den Parametern der Verteilungsfunktion (23 %). Zusätzliche Schwachstellen haben 32 Teilnehmer aufgeschrieben (Abb. 25).

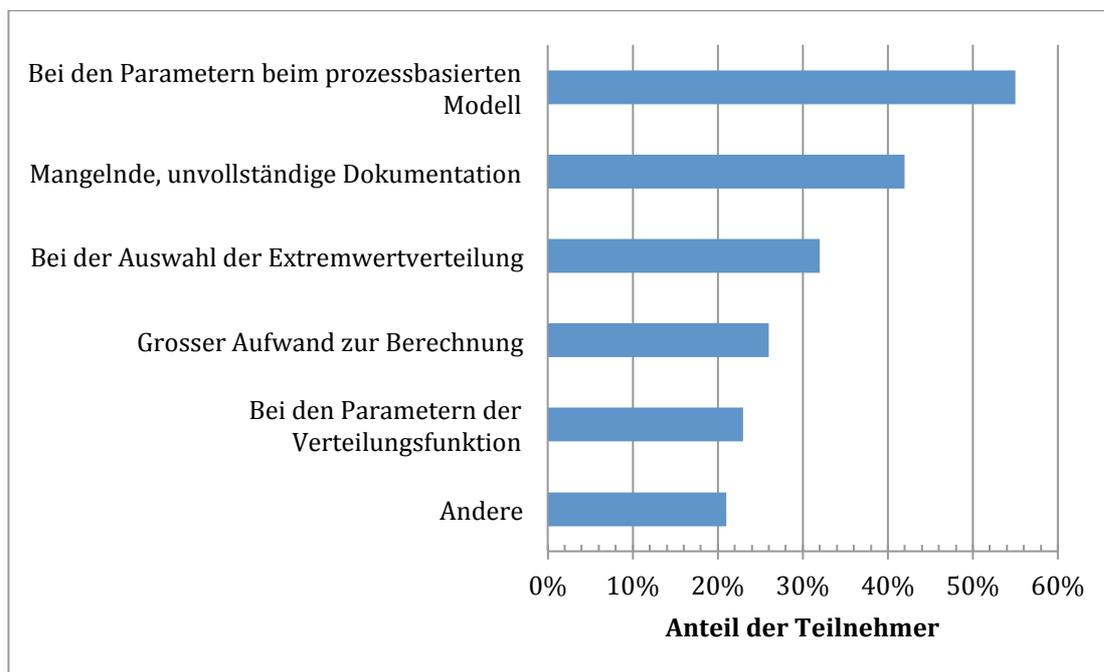


Abb. 25: Schwachstellen (Unsicherheiten) bei der von den Teilnehmern am häufigsten benutzten Methode in Gebieten ohne Abflussmessungen.

Die Antworten aus dem Zusatzfeld sind in der Tabelle 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Schwachstellen der Hochwasserabschätzungsmethoden in Gebieten ohne Abflussmessungen. Antworten aus dem Zusatzfeld *Andere* mit der dazugehörigen Anzahl Teilnehmer.

Weitere Schwachstellen	Anzahl Teilnehmer
Veraltete/ unklare Niederschlagsdaten	4
Keine Daten für Validierung	3
Zu starke Vereinfachung der Hochwasserabschätzungsmethode	5
Zu unterschiedliche Resultate bei unterschiedlichen Methoden	8
Grundsätzliche Mängel und Unsicherheiten bei den Parametern	6
Einmalige Nennungen	8

Die Tabelle 7 zeigt, dass vor allem die unterschiedlichen Resultate bei den diversen Methoden (8 Personen) ein weiteres Problem bei den Hochwasserabschätzungsmethoden in Gebieten ohne Abflussmessungen ist. Ebenfalls sind grundsätzliche Mängel und Unsicherheiten bei den Parametern (6 Personen) eine Schwachstelle, gefolgt von der Kritik, dass die Hochwasserabschätzungsmethode zu stark vereinfacht (5 Personen). Weiter werden eine schlechte Qualität der Niederschlagsdaten, ein Mangel an Daten für die Validierung und weitere einmalige Nennungen erwähnt.

Vor allem bei den prozessbasierten Modellen sind Schwachstellen zu finden. Zum einen sind dies die Einschätzung der Parameter und zum anderen eine zu starke Vereinfachung der Methode im allgemeinen und zu unterschiedliche Resultate bei unterschiedlichen Methoden. Die letzte Nennung bezieht sich auch auf die Auswahl der Extremwertverteilung, bei der je nach Wahl unterschiedliche Resultate herauskommen. Auch der grosse Aufwand zur Berechnung ist eine Kritik. Um herauszufinden, was die Teilnehmer als grosser Aufwand ansehen, wurden die Antworten dieser Teilnehmer auf die Frage nach der durchschnittlichen Berechnungszeit analysiert (Tab. 8).

Tab. 8: Zeitaufwand für Hochwasserabschätzungen der Teilnehmer, welche bei der Frage nach der durchschnittlichen Berechnungszeit einen grossen Berechnungsaufwand bemängeln.

	<15'	15'-30'	30'-60'	1-5h	1/2-1d	1-7d	>1Woche
Prozent der Teilnehmer	3	3	14	38	24	14	5

Die Tabelle 8 zeigt, dass die Mehrheit der Teilnehmer *1-5 Stunden* und *½-1 Tag* gewählt haben. Dieser Zeitaufwand wird demnach bereits als lang empfunden. Dies zeigt, dass der Druck, möglichst schnell und demzufolge kosteneffizient zu arbeiten, gross ist. Diese Teilnehmer hätten demnach gern eine Methode, welche eine kurze Berechnungszeit hat und trotzdem qualitativ gut ist.

**Frage Nr. 20**

*Wo sehen Sie Schwachstellen (Unsicherheiten) in dieser von Ihnen am häufigsten angewendeten Methode in Gebieten MIT Abflussmessungen? (Mehrere Antworten möglich)*

- *Bei der Auswahl der Extremwertverteilung*
- *Bei den Parametern der Verteilungsfunktion*
- *Bei den Parametern beim prozessbasierten Modell*
- *Mangelnde, unvollständige Dokumentation*
- *Grosser Aufwand zur Berechnung*
- *Andere*

Es haben 133 an dieser Frage teilgenommen. Am meisten Schwachstellen sehen die Teilnehmer bei der Auswahl der Extremwertverteilung (41 % der Teilnehmer), gefolgt von mangelnder, unvollständiger Dokumentation (37 %). Darauf folgen die Schwachstellen bei den Parametern beim prozessbasierten Modell (34 %), die Schwachstellen bei den Parametern der Verteilungsfunktion (28 %) und beim grossen Aufwand zur Berechnung (20 %). Zusätzliche Schwachstellen haben 28 Teilnehmer hingeschrieben (Abb. 26).

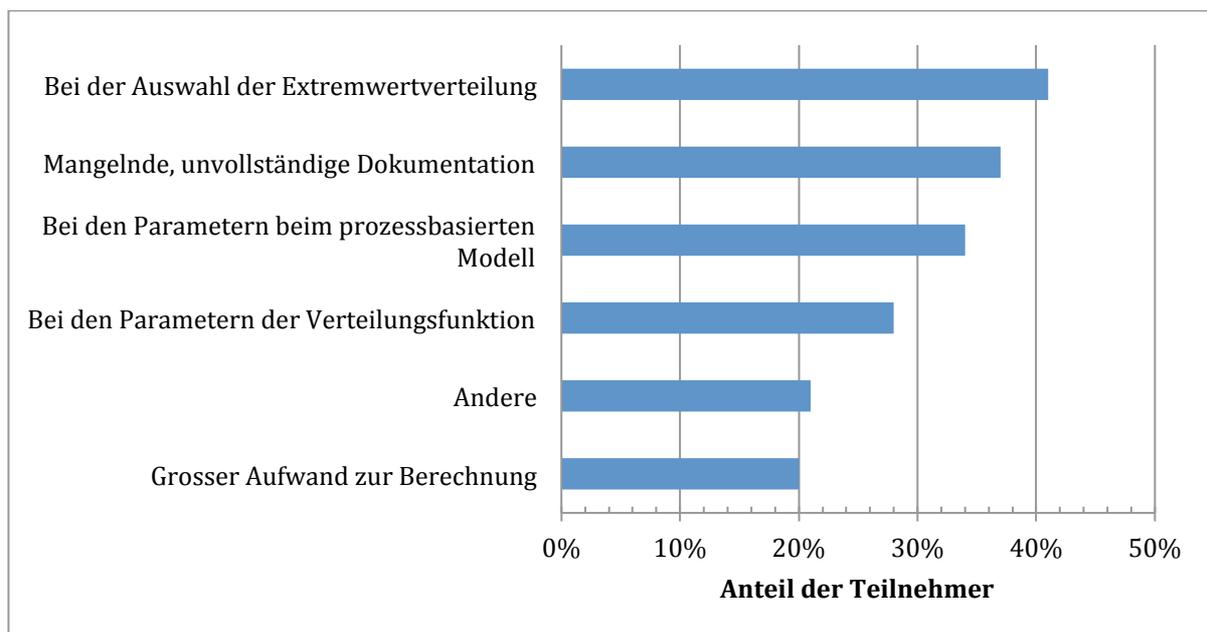


Abb. 26: Schwachstellen (Unsicherheiten) bei der von den Teilnehmern am häufigsten benutzte Methode in Gebieten mit Abflussmessungen.

Die Antworten aus dem Zusatzfeld sind in der Tabelle 9 zusammengestellt.

Tab. 9: Schwachstellen bei Hochwasserabschätzungsmethoden in Gebieten mit Abflussmessungen. Antworten aus dem Zusatzfeld *Andere* mit der dazugehörigen Anzahl der Teilnehmer.

Weitere Schwachstellen	Anzahl Teilnehmer
Veraltete/ unklare Niederschlagsdaten	4
Keine Daten für Validierung	3
Zu starke Vereinfachung der Hochwasserabschätzungsmethode	5
Zu unterschiedliche Resultate bei unterschiedlichen Methoden	8
Grundsätzliche Mängel und Unsicherheiten bei den Parametern	6
Einmalige Nennungen	8

Je sechs Personen sehen in zu kurzen Messreihen und in Unsicherheiten bei den Messungen Schwachstellen. Je vier Personen bemängeln die Pegel-Abflussbeziehung und die Qualität der Niederschlagsdaten. Das veränderliche Umfeld erwähnen drei Personen und neun weitere einmalige Nennungen kommen dazu (Tab. 9).

Die Auswahl der Extremwertverteilung ist eine der Schwachstellen bei Hochwasserabschätzungen in Gebieten mit Abflussmessungen. Dies kann mit der Antwort aus dem Zusatzfeld ergänzt werden, bei dem die verschiedenen Resultate bei unterschiedlichen Methoden kritisiert wird. Je nach Wahl der Extremwertverteilung oder auch des prozessbasierten Modells ändern sich die Resultate. Ein weiterer wichtiger Punkt ist – wie bei den Gebieten ohne Abflussmessungen – die mangelnde oder unvollständige Dokumentation der Abflussdaten. Dazu gehören auch veraltete oder qualitativ schlechte Niederschlagsdaten.

Der grosse Aufwand zur Berechnung ist zwar die kleinste Schwachstelle, wurde aber immer noch von 20% der Teilnehmer erwähnt. Um den *grossen Aufwand* besser definieren zu können, wurde die Antwort dieser Teilnehmer bei der Frage nach der durchschnittlichen Berechnungszeit von Hochwasserabschätzungen analysiert (Tab. 10).

Tab. 10: Zeitaufwand für Hochwasserabschätzungen der Teilnehmer, welche bei der Frage nach der durchschnittlichen Berechnungszeit einen grossen Berechnungsaufwand bemängeln.

	<15'	15'-30'	30'-60'	1-5h	1/2-1d	1-7d	>1Woche
Prozent der Teilnehmer	4	12	20	36	16	8	4

Die Mehrheit liegt bei *1-5 Stunden* und *30-60 Minuten*. An dritter Stelle liegt *1/2 – 1Tag*. Demnach werden bereits Zeiten von 30-60 Minuten als eher lang eingestuft. Dies kann daran liegen, dass alle Daten schon vorhanden sind und man deshalb das Gefühl hat,

dass die Abschätzung schneller vorangehen sollte. Trotzdem ist eine Stunde im Normalfall eher knapp für eine zuverlässige Hochwasserabschätzung (Tab. 10).

### Frage Nr. 21

*Ereignisse welcher Jährlichkeit werden von Ihrem Auftraggeber gewünscht? (Mehrere Antworten möglich)*

- *MHQ*
- *HQ2.33*
- *HQ10*
- *HQ20*
- *HQ30*
- *HQ50*
- *HQ100*
- *HQ300*
- *HQ1000*
- *EHQ*
- *Andere Jährlichkeit*

Es haben 168 Teilnehmer diese Frage beantwortet. Am häufigsten wird HQ100 benutzt (96 %), gefolgt von HQ300 (88 %), HQ30 (79 %) und EHQ (75 %). Etwas weniger Teilnehmer benutzen HQ10 (32 %) und MHQ (29 %). HQ1000 wird von 21 % der Teilnehmern benutzt, HQ50 von 18 % der Teilnehmer, HQ20 von 14 % der Teilnehmern und am Schluss HQ2.33 von 13 % der Teilnehmer (Abb. 27).

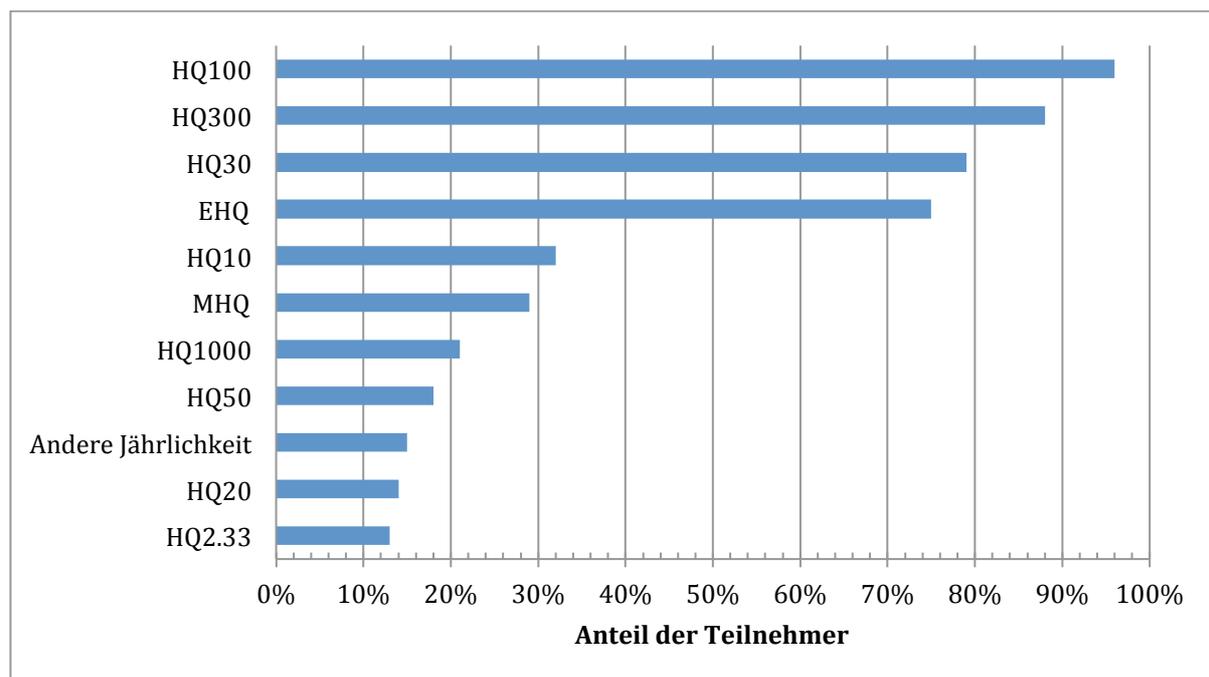


Abb. 27: Von den Auftraggebern gewünschte Jährlichkeiten der Ereignisse.

Andere Jährlichkeiten haben 25 Personen ausgewählt. Diese Nennungen sind in der folgenden Tabelle 11 zusammengefasst.

Tab. 11: Weitere von Arbeitgebern gewünschte Jährlichkeiten.

Weitere Jährlichkeiten	Anzahl Teilnehmer
HQ5	9
Q347	5
HQ2	5
HQ3	3
PMF	3
Einmalige Nennungen	7

Neun Personen benutzen ebenfalls HQ5, je fünf Personen das Q347 und das HQ2 und je drei Personen das HQ3 und das PMF (Probable Maximum Flood). Sieben Personen nannten Jährlichkeiten, die nur jeweils einmal erwähnt wurden (Tab. 11).

Die geforderte Jährlichkeit von Hochwasser ist abhängig vom Projekt. Je nach Bauwerk und Ziel der Hochwasserabschätzung braucht es unterschiedliche Jährlichkeiten.

### Frage Nr. 22

*Bitte wählen Sie die von Ihnen benutzten Jährlichkeiten (die Sie bei der oberen Frage ausgewählt haben) und ordnen Sie diese gemäss ihrer Wichtigkeit.*

*1 = am häufigsten und 11 = am seltensten*

*Bei den Jährlichkeiten, die Sie nicht benutzen, können Sie „k.A.“ auswählen.*

Diese Frage haben 163 Personen beantwortet. Vergleicht man das arithmetische Mittel der verschiedenen Jährlichkeiten, sieht man, dass HQ100 die am meisten benutzte und somit wichtigste Jährlichkeit ist. An zweiter Stelle liegt HQ300 mit dem arithmetischen Mittel von 3 und an dritter Stelle HQ30 mit dem arithmetischen Mittel von 3.5. Danach folgen die Jährlichkeiten EHQ ( $\emptyset=4.2$ ), MHQ ( $\emptyset=5.5$ ), HQ10 ( $\emptyset=5.8$ ), HQ2.33 ( $\emptyset=6.7$ ), HQ20 ( $\emptyset=7$ ), HQ50 ( $\emptyset=7.6$ ) und HQ1000 ( $\emptyset=7.8$ ). Die anderen erwähnten Jährlichkeiten haben das arithmetische Mittel von 9.5 und nehmen keine wichtige Stellung ein (Tab. 12).

Tab. 12: Die benutzten Jährlichkeiten der Teilnehmer geordnet nach ihrer Wichtigkeit (1 = am häufigsten und 11 = am seltensten).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	k.A	Ø
<b>MHQ</b>	4	3	6	15	35	20	10	10	2	5	1	51	5.5
<b>HQ2.33</b>	0	4	1	10	9	35	14	11	12	7	3	62	6.7
<b>HQ10</b>	1	5	7	10	28	24	31	11	5	2	0	38	5.8
<b>HQ20</b>	1	4	6	6	4	6	21	34	22	3	0	56	7
<b>HQ30</b>	11	46	44	16	13	1	3	9	5	2	0	13	3.5
<b>HQ50</b>	1	3	4	5	3	16	12	12	33	17	2	54	7.6
<b>HQ100</b>	131	20	4	2	1	0	1	0	0	0	2	3	1.4
<b>HQ300</b>	9	56	60	11	13	1	3	2	3	1	0	7	3
<b>HQ1000</b>	1	0	4	8	14	11	7	4	13	43	4	53	7.8
<b>EHQ</b>	0	20	22	70	19	4	2	4	1	7	0	14	4.2
<b>Andere Jährlichkeit</b>	4	2	3	1	6	3	1	3	0	7	75	17	9.5

Die Antworten zeigen, dass viele unterschiedliche Jährlichkeiten benutzt werden. Die bivariate Methode sollte demnach möglichst flexibel gestaltet werden, damit die Jährlichkeit je nach Zweck frei gewählt werden kann.

### Frage Nr. 23

Wie bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses? (Mehrere Antworten möglich)

- *Basierend auf der Verteilungsfunktion der Hochwasserspitze*
  - *Basierend auf der Verteilungsfunktion des Hochwasservolumens*
  - *Basierend auf einer bivariaten Verteilungsfunktion von Hochwasserspitze und Hochwasservolumen*
  - *Unter der Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit des Niederschlag-Inputs in einem Niederschlags-Abfluss-Modell der Wahrscheinlichkeit des modellierten Abflusses entspricht*
- *Anders*

Es haben 154 Personen diese Frage beantwortet. Am meisten wird die Jährlichkeit basierend auf der Verteilungsfunktion der Hochwasserspitze bestimmt (72 %), gefolgt von

der Bestimmung unter der Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit des Niederschlag-Inputs in einem Niederschlags-Abfluss-Modell der Wahrscheinlichkeit des modellierten Abflusses entspricht (41 %). Acht Prozent der Personen bestimmen sie basierend auf der Verteilungsfunktion des Hochwasservolumens und 4 % basierend auf einer bivariaten Verteilungsfunktion von Hochwasserspitze und Hochwasservolumen. Andere Bestimmungsmethoden haben 21 Teilnehmer erwähnt (Abb. 28).

Beim Zusatzfeld gaben 6 Personen an, durch Ereignisanalysen die Jährlichkeit zu bestimmen und 4 Personen, dass sie keine Jährlichkeiten berechnen. 12 weitere Nennungen wurden je einmal erwähnt.

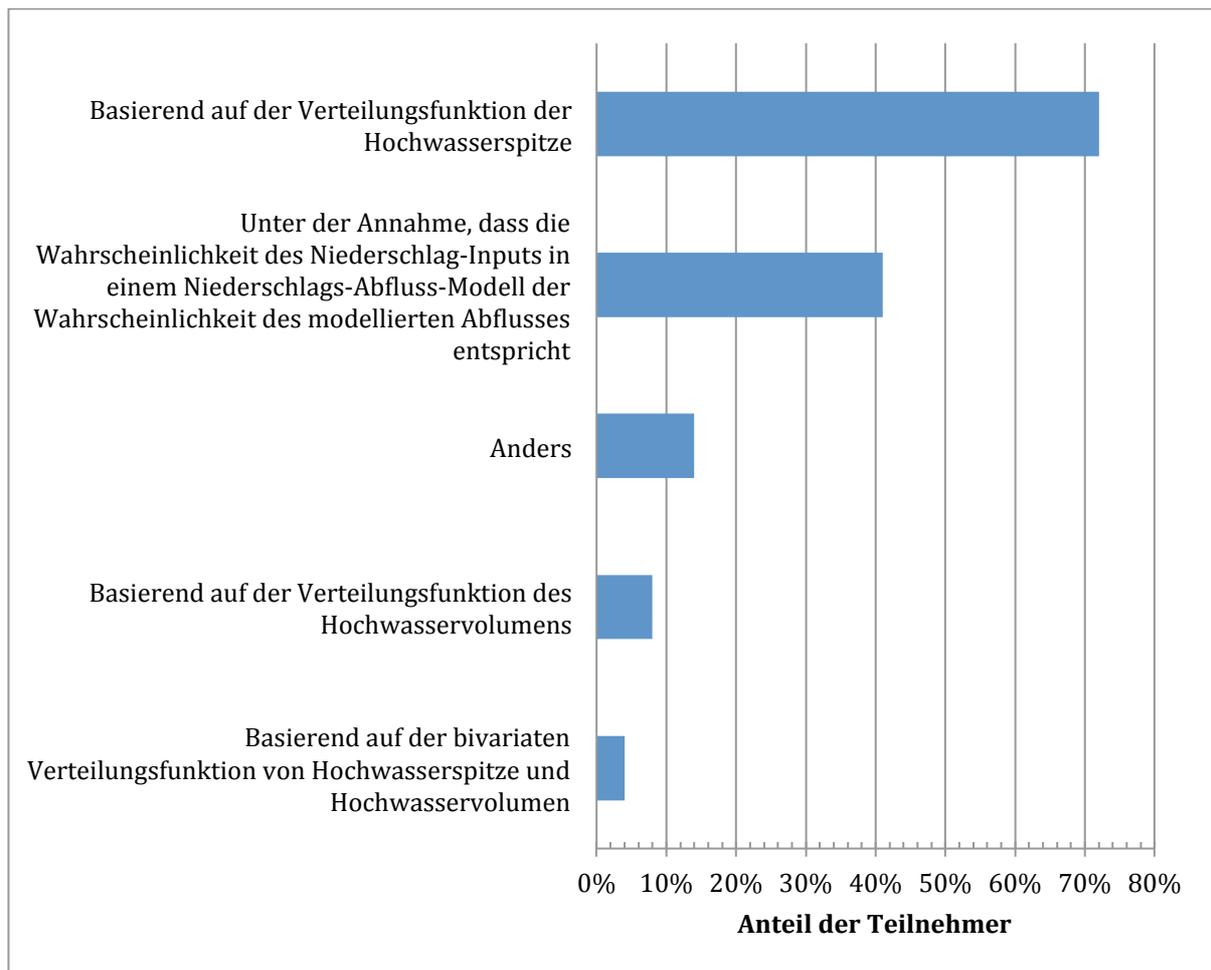


Abb. 28: Bestimmung der Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses.

Die Verteilungsfunktion der Hochwasserspitze wird am häufigsten als Basis für die Bestimmung der Jährlichkeit verwendet. Deshalb ist es umso wichtiger, dass diese zuverlässig ist. Je grösser die Unsicherheiten bei der Verteilungsfunktion sind, desto grösser sind dann ebenfalls die Unsicherheiten bei der Jährlichkeit. Dasselbe gilt für die Nutzung des Niederschlags-Abfluss-Modells und den Niederschlag-Input. Die Niederschlagsdaten müssen qualitativ gut sein und das Modell fähig sein, Starkniederschläge bei Hochwasserereignissen richtig zu modellieren. Nur wenige gehen für die Jährlichkeit von der Verteilungsfunktion des Hochwasservolumens aus und noch weniger von einer bivaria-

ten Methode, deren Verteilungsfunktion sowohl Hochwasserspitzte und Hochwasservolumen berücksichtigt.

**Frage Nr. 24**

*Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie die oben beschriebene Methode anwenden würden? (Bivariate Methode)*

*1 = sehr klein und 10 = sehr gross*

Tab. 13: Die Wahrscheinlichkeit, dass die Teilnehmer die bivariate Methode anwenden würden (1 = sehr klein und 10 = sehr gross) mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Ø
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%			
<b>Methode</b>	8	5	11	7	17	11	8	5	24	15	12	7	15	9	29	18	22	14	15	9	6

Diese Frage haben 161 Personen beantwortet. Das arithmetische Mittel liegt bei 6 (Tab. 13). Der Durchschnitt liegt knapp auf der positiven Seite. Die Teilnehmer stehen also der bivariaten Methode noch etwas kritisch gegenüber, aber die Nachfrage für eine solche Methode scheint vorhanden zu sein. Fünfzehn Prozent geben sich neutral und sind noch unentschieden.

Die Antworten der Frage nach der Anwendungswahrscheinlichkeit wurden in zwei Gruppen zusammengefasst. Die Teilnehmer, welche die Kategorien 8 bis 10 ausgewählt haben, kamen in die Gruppe der *grossen Anwendungswahrscheinlichkeit*. Die Teilnehmer, welche die Kategorie 1 bis 3 auswählten, wurden in die Gruppe der *kleinen Anwendungswahrscheinlichkeit* eingeteilt. Die Antworten dieser beiden Gruppen wurden dann mit ihrer Antwort bei der Frage nach der Zufriedenheit mit ihrer eigenen Methode verglichen Tabelle 14.

Tab. 14: Gegenüberstellung der Zufriedenheit (1 = sehr klein und 10 = sehr gross) mit der bisherigen Methode und der Anwendungswahrscheinlichkeit (siehe Text) der bivariaten Methode.

	Zufriedenheitskategorie									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Grosse Anwendungswahrscheinlichkeit [%]</b>	0	6	11	2	17	16	29	16	4	0
<b>Kleine Anwendungswahrscheinlichkeit [%]</b>	0	3	12	12	27	6	18	9	6	6

Bei der Gruppe der grossen Anwendungswahrscheinlichkeit hätte ich erwartet, dass die Mehrheit unzufrieden mit ihrer Methode ist und deshalb gerne eine andere Variante hätte. Ein grosser Teil allerdings ist eher zufrieden mit der im Moment angewendeten Methode. Trotzdem kann es sein, dass sich diese Teilnehmer von der bivariaten Metho-

de eine weitere Vereinfachung der Hochwasserabschätzung und zuverlässigere Resultate erwarten. Bei der Gruppe der kleinen Anwendungswahrscheinlichkeit hätte ich das Gegenteil erwartet, nämlich dass die Mehrheit zufrieden mit ihrer im Moment angewendeten Methode ist und deshalb keine Verbesserung durch die bivariate Methode sieht. Tabelle 14 zeigt, dass diese Tendenz vorhanden ist. Zwar sind 27 % der Teilnehmer unentschieden, aber die Mehrheit (45 %) liegt im positiven Bereich. Die Teilnehmer, welche nicht zufrieden sind mit ihrer Methode und die neue Methode trotzdem eher nicht anwenden würden, sind wahrscheinlich entweder mit der Vorgehensweise bei der bivariaten Methode nicht zufrieden, oder die Methode ist nicht geeignet für ihre Art von Hochwasserabschätzungen (z.B. nur Abschätzungen in kleineren Gebieten).

### Frage Nr. 25

*Des Weiteren ist es für uns interessant zu wissen, wie Sie mit Unsicherheiten im Hydrographen umgehen. Spielt Unsicherheit bei Ihrer Hochwasserabschätzung eine Rolle?*

- Ja
- Nein

Die Frage wurde von 161 Teilnehmern beantwortet. Die Mehrheit der Teilnehmer bejahten diese Frage (142 Personen) und nur 19 Personen verneinten. Die Personen, welche die Frage mit *Nein* beantworteten, wurden zur Abschlussfrage Nummer 29 weitergeleitet (Abb. 29).

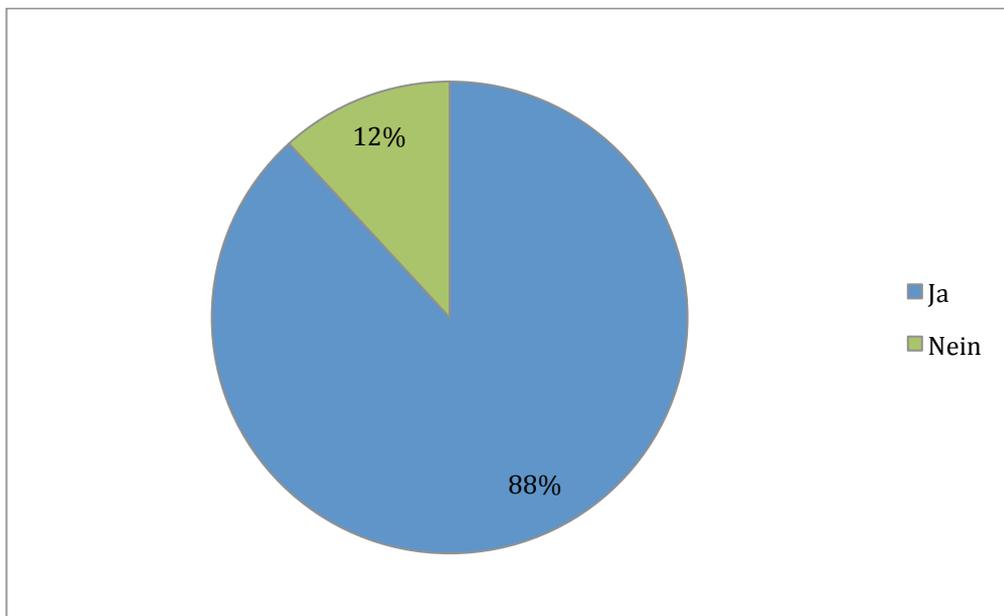


Abb. 29: Die Rolle der Unsicherheit bei der Hochwasserabschätzung. Ja = spielt eine Rolle, Nein = spielt keine Rolle [%].

**Frage Nr. 26**

Wie möchten Ihre Auftraggeber Unsicherheiten kommuniziert haben?

- Als Konfidenzintervall
- Als Wertebereich einzelner Hydrographen-Charakteristika
- Grafisch aus dem Hydrographen ablesbarer Wertebereich
- Anders

Insgesamt haben 134 Personen an dieser Frage teilgenommen. Bei 38 % der Teilnehmer ist der beliebteste Weg, Unsicherheit zu kommunizieren, diese *grafisch* darzustellen als *aus dem Hydrographen ablesbarer Wertebereich*. Danach folgt die Variante *als Wertebereich einzelner Hydrographen-Charakteristika* mit 27 % der Teilnehmer. Zum Schluss folgt mit 25 % die Darstellung der Unsicherheit *als Konfidenzintervall*. Andere Angaben machten 19 Personen (Abb. 30).

Bei dem Zusatzfeld geben je fünf Personen an, dass das die Auftraggeber nicht interessiert und dass sie die Art und Weise selber auswählen können. Vier Personen schreiben, dass die Unsicherheit qualitativ und in einem Gespräch vermittelt wird. Zusätzlich erfolgen sechs weitere Nennungen, die nur einmalig auftreten.

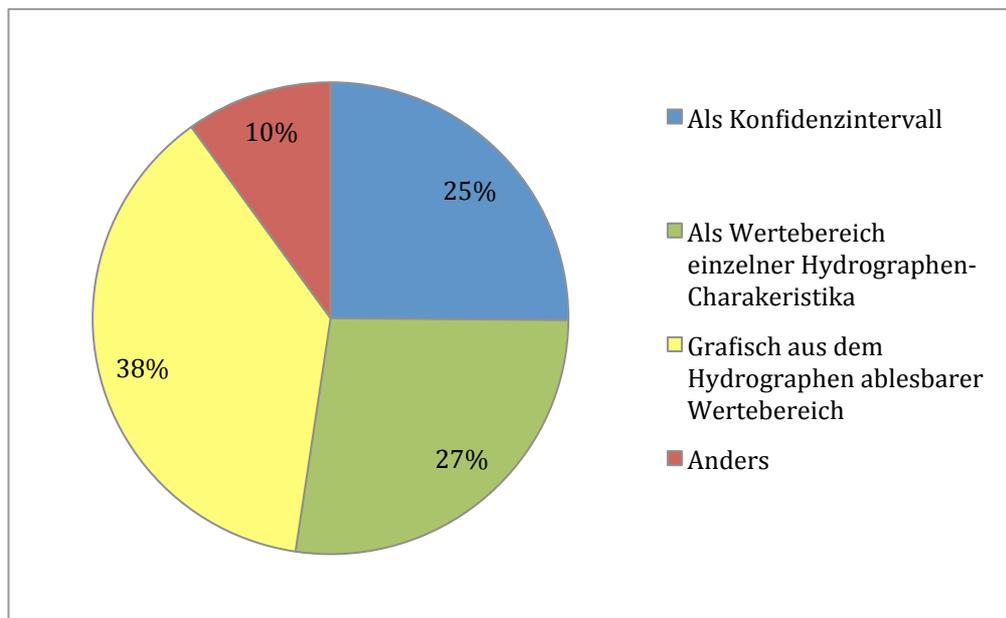


Abb. 30: Art und Weise, wie die Auftraggeber die Unsicherheit bei Hochwasserabschätzungen kommuniziert haben wollen [%].

60 Teilnehmer gaben bei der Frage 14 an, die Hydrographform als Angabe zur Verfügung zu stellen. Ein Grossteil dieser Teilnehmer hat bei dieser Frage die Variante *Grafisch aus dem Hydrographen ablesbarer Wertebereich* oder die Variante *als Wertebereich einzelner Hydrographen-Charakteristika* ausgewählt, wahrscheinlich weil der Hydrograph bereits als Angabe geliefert wird.

**Frage Nr. 27**

*Welches Konfidenzintervall verwenden Sie?*

- 95 % - Konfidenzintervall
- 90 % - Konfidenzintervall
- Anders

Diese Frage wurde nur von Personen beantwortet, welche bei der vorherigen Frage *Konfidenzintervall* gewählt haben. Insgesamt haben 42 Personen die Frage beantwortet. Am häufigsten wird das 95 % - Konfidenzintervall benutzt (71 %), gefolgt vom 90 % - Konfidenzintervall (38 %). Fünf Personen geben an, ein anderes Konfidenzintervall zu benutzen (Abb. 31), zum Beispiel unter anderem das 80 %-Konfidenzintervall.

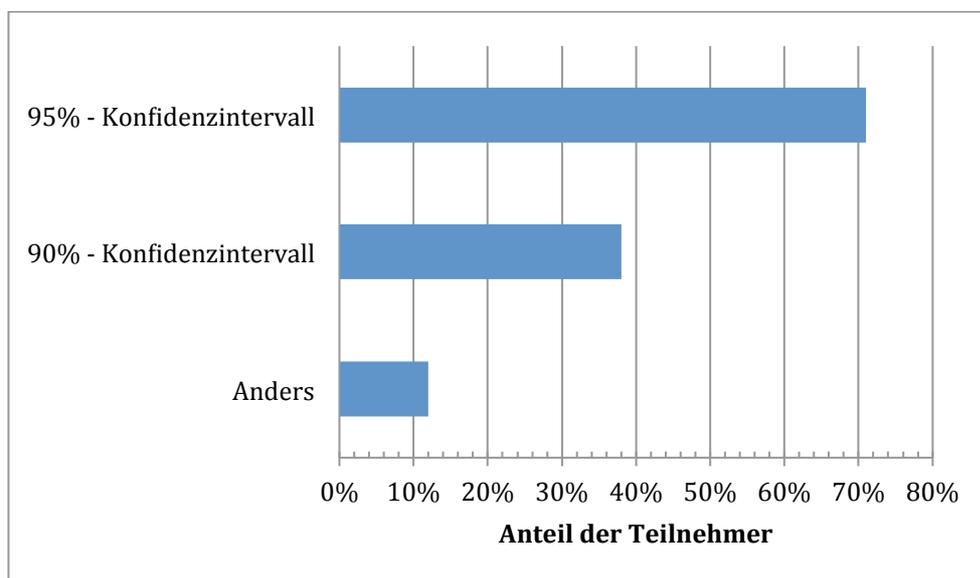


Abb. 31: Die Nutzung verschiedener Konfidenzintervalle durch die Teilnehmer.

**Frage Nr. 28**

*Welches Vorgehen in Bezug auf Unsicherheiten empfehlen Sie Ihren Kunden tendenziell eher:*

- *Risikoavers – kostspielig (Verwendung von Werten im oberen Bereich des Konfidenzintervalls)*
- *Pragmatisch – kostengünstig (Verwendung von Werten im mittleren Bereich des Konfidenzintervalls)*
- *Andere Tendenz*

Es haben 129 Teilnehmer diese Frage beantwortet. Die meisten wählen den *pragmatisch – kostengünstigen* Ansatz (53 % der Teilnehmer) und *risikoavers – kostspielig* wählen 24 %. 35 Personen (26 %) gaben eine andere Tendenz an (Abb. 32). So wurde 17 Mal erwähnt, dass die Empfehlung abhängig vom Projekt ist, 7 Mal ist sie abhängig vom

Schadenpotential und 3 Mal hängt sie von der Beachtung des Überlastfalles ab. 11 weitere Nennungen wurden nur einmalig geschrieben.

Bei dieser Frage fällt auf, dass *pragmatisch und demnach eher kostengünstig* die bevorzugte Version ist. Aber wie im Feld *Andere Tendenz* besonders oft erwähnt wurde, kommt das Vorgehen auf das vorhandene Projekt an. Je nachdem, was gebaut wird und wer oder was dem Risiko ausgesetzt ist, wird das Vorgehen angepasst.

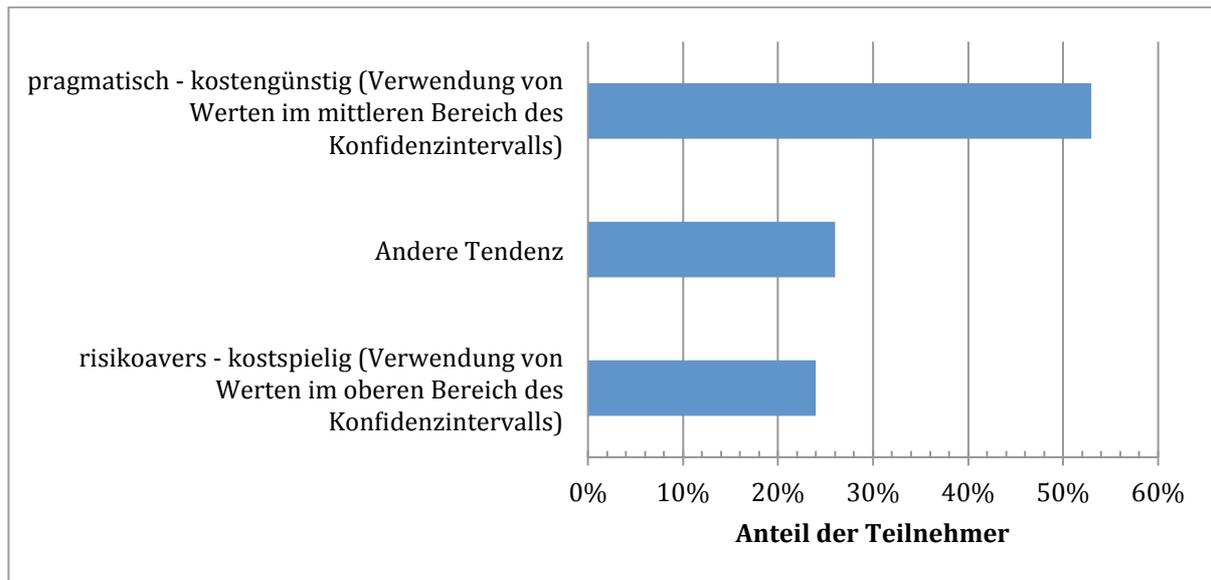


Abb. 32: Vorgehen der Teilnehmer in Bezug auf Unsicherheit.

### Frage Nr. 29

*Sie sind nun am Ende der Umfrage angelangt. Falls Sie Bemerkungen oder Anregungen haben, nehme ich diese hier gerne entgegen. Wenn Sie zudem Interesse an den Resultaten meiner Masterarbeit haben, geben Sie hier bitte Ihre Email-Adresse an, damit ich Ihnen diese nach Abschluss zukommen lassen kann.*

Insgesamt haben 103 Personen etwas in die Kommentarbox geschrieben (Tab. 15). 78 Personen haben ihre Email-Adresse für das Zuschicken der Masterarbeit hinterlegt. 26 Personen haben erwähnt, dass die bivariate zwar eine gute Idee sei, es aber wünschenswert wäre, dass sie ebenfalls in kleinen Gebieten angewendet werden kann, da sie auch meistens in kleineren Einzugsgebieten arbeiten. Sechs Personen betonten explizit, dass die Idee, auch das Hochwasservolumen zu berücksichtigen, sehr gut sei. Es gab auch noch einige andere Kommentare zu Hochwasserabschätzungen im Allgemeinen. Jemand gab zum Beispiel an, dass im Gebiet des Wasserbaus die Voraussage des Geschiebeanteils mehr Probleme bereitet als die Hochwasserabschätzung selber. Ein anderer Teilnehmer, erwähnte den mangelnden Unterhalt von Bauwerken, was verheerender ist als grosse Unsicherheiten bei Hochwasserabschätzungen. Zwei Teilnehmer sprachen zudem an, dass die Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH angepasst werden

sollten, da einige Parameter veraltet seien. Nur eine Person gab eine Fehlfunktion bei einer der Fragen in der Umfrage an. Dies blieb allerdings die einzige Fehlermeldung.

Tab. 15: Die häufigste Antworten und Kommentare.

Email Adresse	78
Methode für ein kleineres Einzugsgebiet wäre wünschenswert	26
Berücksichtigung von Hochwasserspitze Hochwasservolumen ist eine sehr gute Idee	6

## 5.2. Resultate der Experteninterviews

In Kapitel 4.3.1 ist das Auswahlverfahren für die Experteninterviews beschrieben. Zur Erinnerung dient die zusammenfassende Tabelle 3.

Die Antworten auf die gestellten Fragen geben Meinungen und Ansichten der einzelnen Teilnehmer wieder und sind demnach subjektiv. Zudem ist es nicht gewährleistet, dass die Aussagen der Teilnehmer jeweils auf die ganze Firma zutreffen. Einfachheitshalber wird aber jeweils von der Firma und nicht vom Teilnehmer der Firma gesprochen.

### Frage 1

*Können Sie die Methode, die Sie in Gebieten ohne Abflussmessungen benutzen etwas genauer beschreiben? Was sind deren Vorteile und wo sehen Sie Schwachstellen?*

Firma 1 benutzt in kleinen Einzugsgebieten HAKESCH und in grösseren Einzugsgebieten HQx\_meso\_CH. Beide Programme werden benutzt, weil mit ihnen die Hochwasserabschätzung schnell geht und effizient ist. Auch Gefahrenkarten werden benutzt, mit deren Abflusswerten Regionalisierungen vorgenommen werden. Trotzdem sind sie nicht sehr zufrieden mit diesen Methoden, weil die Unsicherheiten extrem gross sein können. Je nach Parameterwahl sind die Resultate unterschiedlich und es ist etwas zufällig, ob das richtige Resultat gefunden wird. Erfahrung spielt deshalb eine wichtige Rolle um einzuschätzen, welche Resultate am besten zutreffen.

Firma 2 benutzt ebenfalls HAKESCH und Gefahren- und Intensitätskarten. Kommt ein Auftrag vom Kanton, dann bestimmt dieser ob HAKESCH benutzt werden soll oder nicht. Die Schwachstellen von HAKESCH sieht die Firma 2 ebenfalls in den grossen Unsicherheiten und der Erfahrung die es braucht, um die besten Resultate zu wählen. Bei der Nutzung von Gefahrenkarten wird die Schnelligkeit der Abschätzung als Vorteil gesehen. Jedoch ist die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit von Gefahrenkarten eine Schwachstelle. Denn diese werden nur ca. alle 10 Jahre aktualisiert.

Firma 3 investiert viel Aufwand und Zeit in ihre Hochwasserabschätzung. Ihre Methode basiert auf zwei Teilen. In einem ersten Teil wird eine historische Analyse durchgeführt, wobei ebenfalls eine Begehung des Einzugsgebietes dazugehört und mit Zeitzeugen gesprochen wird. Diese historische Analyse wird als besonders wichtig erachtet, da diese am meisten Informationen liefern kann. Im Vergleich zu HAKESCH ist diese Analyse genauer. Denn viele Parameter, die bei Software-Programmen verwendet werden, sind zu alt und müssten manuell angepasst werden. Beim zweiten Teil kommt das Verständnis des Einzugsgebietes hinzu, so zum Beispiel in welchen Bereichen des Einzugsgebietes das Hochwasser entsteht. Die hergestellte Karte wird dann in ein Modell integriert und der Abfluss nachgerechnet. Dabei wird überprüft, ob die Vorstellung mit der Berechnung des Modelles übereinstimmt. Ebenfalls wird ein Frequenzdiagramm gemacht. Der grösste Nachteil dieser Methode ist der grosse Aufwand und die damit verbundenen hohen Kosten. Ein anderes Problem besteht, wenn zu wenig historische Ereignisse vorhanden sind, welche analysiert werden können. Dies ist aber eher selten der Fall, da gerade in Gesprächen mit Anwohnern viele Informationen gewonnen werden können.

Firma 4 benutzt Gefahrenkarten und in kleinen Einzugsgebieten vorwiegend das Verfahren nach Kürsteiner und Meli. Diese Methoden sind zwar eher simpel, aber auch effizient. In grösseren Einzugsgebieten wird HAKESCH verwendet. Ein grosser Vorteil von HAKESCH ist die Konzentrationszeit und somit die Ganglinie. Schwachstellen sieht der Teilnehmer der Firma 4 bei HAKESCH im grossen Aufwand für die Berechnung. Auch sind die Resultate in kleinen Einzugsgebieten nicht plausibel. Die Gefahrenkarten sind zwar gut, aber für kleine Einzugsgebiete nicht vorhanden. Allgemein vertritt Firma 4 die Meinung, dass grössere Unsicherheiten zwar vorkommen, aber nicht weiter schlimm sind, da man die Bauten dementsprechend anpassen kann.

Die von Firma 1 und Firma 2 erwähnten Schwachstellen erklären, wieso diese beiden Teilnehmer nicht zufrieden sind mit ihrer Methode. Firma 3 und Firma 4 andererseits sind sehr zufrieden mit ihrer Methode.

## **Frage 2**

*Können Sie ihre durchschnittliche Berechnungszeit für eine Hochwasserabschätzung erklären? Hätten Sie gerne mehr Zeit zur Verfügung?*

Firma 1 führt monatlich Hochwasserabschätzungen durch und benötigt durchschnittlich 1 bis 5 Stunden für eine Berechnung. Die genaue Zeit hängt vom Projekt ab, denn teilweise werden auch Feldbegehungen gemacht. Viel mehr Zeit steht jedoch meistens nicht zur Verfügung, auch wenn sie teilweise gerne mehr investieren würden, um sichere Resultate zu erhalten. Wichtiger als mehr Zeit wäre jedoch eine neue Methode, welche zuverlässiger ist.

Firma 2 führt ebenfalls monatlich Hochwasserabschätzungen durch und braucht für eine Berechnung durchschnittlich 30 bis 60 Minuten. Der Teilnehmer erklärt aber, dass diese Angabe stark schwankt. 30 bis 60 Minuten dauert es in der Regel, wenn der Auftrag an eine externe Stelle weiter gegeben wird. Wenn Daten vorhanden sind, werden die Abschätzungen jedoch selber durchgeführt und man geht entweder ins Feld oder benutzt Satellitendaten und Geländeaufnahmen. In diesem Fall können die Abschätzungen einige Tage dauern.

Firma 3 arbeitet täglich an Hochwasserabschätzungen und braucht für eine Abschätzung durchschnittlich länger als eine Woche. Der Hauptgrund für diese lange Berechnungszeit ist die Feldbegehung und die Recherche nach historischen Ereignissen. Eine Interpretation des Einzugsgebietes ist essentiell, um die richtige Methode auszuwählen und um die Vorgänge im Fall eines Hochwassers zu verstehen.

Firma 4 führt monatlich Hochwasserabschätzungen durch und braucht durchschnittlich für eine Berechnung 30 bis 60 Minuten. Dieses schnelle Vorgehen ist damit begründet, dass oft das Verfahren nach Kürsteiner angewendet wird, bei welchen nur einige Zahlen eingefüllt und kleine weitere Überlegungen gemacht werden müssen. Mit den Resultaten sind die Leute dann zufrieden. Die Zeit und das Geld sind oft nicht vorhanden, um mehr Zeit in die Abschätzung zu investieren. Deshalb wird HAKESCH nicht so oft benutzt, da diese Anwendung länger dauert.

Firma 1 könnte mit mehr Zeit zwar eine qualitativ bessere Hochwasserabschätzung machen, findet es jedoch effizienter eine zuverlässigere Methode zu haben, welche weniger Zeit in Anspruch nimmt. Firma 2 braucht einige Tage, um Hochwasserabschätzungen selber durchzuführen. Dies liegt aber auch am Mangel an Erfahrung. Firma 3 nimmt sich lange Zeit, um bestmögliche Resultate zu erzielen und nimmt dafür höhere Kosten in Kauf. Firma 4 braucht nicht lange für Abschätzungen und nimmt daher auch in Kauf, dass die Unsicherheiten etwas grösser sind und die Bauten dementsprechend angepasst werden müssen.

### **Frage 3**

*Wie finden Sie es, eine Hochwasserabschätzung durchzuführen, ohne das Gebiet zu sehen?*

Bei Firma 1 reichen die Mittel der Auftraggeber meistens nicht für extra Feldbegehungen. Zudem fällt es auch nicht in ihren Aufgabenbereich. Will der Auftraggeber solche Feldbegehungen explizit, ist er besser beraten, Spezialisten aufzusuchen. Zusätzlich sind heutzutage Feldbegehungen nicht mehr so wichtig wie früher, da Radardaten, Satellitendaten oder Google Earth anstatt einer Feldbegehung benutzt werden können.

Firma 2 sagt, dass die Qualität mit einer Feldbegehung deutlich besser wird. Es braucht jedoch viel Erfahrung, um die Zeichen im Feld auch richtig deuten zu können. Deshalb

braucht es Firmen, die sich darauf spezialisieren. Wenn die Firma 2 Hochwasserabschätzungsaufträge extern vergibt, erwarten sie, dass Feldbegehungen durchgeführt werden.

Firma 3, die selber immer eine Feldbegehung in die Hochwassereinschätzung integriert, findet, dass eine Abschätzung ohne eine Sichtung des Einzugsgebietes meistens keine zuverlässigen Resultate liefert. Dies liegt daran, dass die Einzugsgebiete meistens sehr heterogen sind und man sie deshalb nicht vereinheitlichen kann. Das Problem bei Feldbegehungen ist allerdings, dass es eine Art Leitfaden und/oder viel Erfahrung braucht, um die Indizien im Feld richtig zu interpretieren.

Firma 4 führt meistens eine Feldbegehung durch, um sich einen Überblick zu verschaffen. Allerdings fließt nur wenig davon in die Hochwasserabschätzung mit ein.

Firma 1 sieht in modernen Bilddaten, wie Radardaten oder Google earth eine Alternative zur Feldbegehung. Firma 2 und Firma 3 hingegen sagen klar, dass die Qualität der Abschätzung durch Feldbegehungen verbessert wird, aber dass es Erfahrung braucht um die Zeichen richtig zu interpretieren. Auch die Firma 4 sieht das ähnlich. Für die Hochwasserabschätzung hilft in ihrem Fall eine Feldbegehung nicht gross, da sie nicht die Erfahrung haben, um die Zeichen richtig zu interpretieren. Eine Art Leitfaden zur Deutung verschiedener Indizien im Einzugsgebiet wäre demnach hilfreich für Hochwasserabschätzungen. Deshalb wird die bivariate Methode einen Leitfaden und eine Zusammenfassung für Praktiker beinhalten.

#### **Frage 4**

*Wie berechnen Sie das Hochwasservolumen?*

Die Firma 1 benutzt für die Berechnung des Hochwasservolumens die Formel von Lutz. Dies ist ein iteratives Verfahren, bei dem nur noch die spezifischen Werte eingesetzt werden müssen.

Die Firma 3 berechnet das Hochwasservolumen mit eigener Statistik und benutzen eine Ganglinie dafür. Das heisst, für alle verschiedenen Niederschlagswerte entsteht je eine Ganglinie, mit einer Hochwasserspitze und einem Volumen. So kann das Volumen berechnet werden.

Die Firmen 2 und 4 berechnen das Hochwasservolumen nicht.

#### **Frage 5**

*Können Sie Ihre ausgewählte Anwendungswahrscheinlichkeit der bivariaten Methode erklären? Wo sehen Sie Schwachstellen bei dieser neuen Methode? Was hätten Sie in der Methode gerne zusätzlich berücksichtigt?*

Der Teilnehmer der Firma 1 würde die bivariate Methode mit grosser Wahrscheinlichkeit (Kategorie 9) anwenden. Dies liegt vor allem daran, dass auf eine Verringerung der Unsicherheiten gehofft wird und das „Lottospielen“ bei der Auswahl des besten Resultats aufhört. Sehr gerne sähe die Firma 1, dass ebenfalls eine Formel für kleinere Einzugsgebiete erarbeitet wird, da in diesen die Unsicherheiten besonders gross und die zur Verfügung stehenden Ressourcen begrenzt sind.

Die Firma 2 würde die bivariate Methode eher nicht anwenden (Kategorie 3). Zwar ist die Berücksichtigung des Volumens sehr sinnvoll, allerdings hätten sie lieber eine Methode, welche in kleineren Einzugsgebieten angewendet werden kann. Zudem befürchten sie, dass es zu viel Aufwand macht, die Mitarbeiter auf die bivariate Methode einzuschulen, da sie Hochwasserabschätzungen nur monatlich durchführen. Dementsprechend wäre es für die Firma 2 wichtig, dass die bivariate Methode einfach anzuwenden und auf das Wesentliche begrenzt ist. Weiter soll sie gut dokumentiert sein, damit man nachvollziehen kann, was die Änderung eines Parameters alles verändert. Eine Idee wäre ebenfalls, dass das Geländemodell als Grundlage genommen wird und die Daten dann ins GIS übertragen werden können. Dort könnte man Auswertungen machen, die Parameter selber variieren und das Ereignis nachsimulieren.

Die Firma 3 steht der bivariaten Methode neutral gegenüber (Kategorie 5). Es ist eine sehr gute Idee, das Volumen mit in die Berechnung einzubeziehen. Allerdings ist die ganze bivariate Methode schwierig zu verstehen. Für eine Anwendung müsste die Methode vereinfacht werden und/oder ein Leitfaden dazu geschrieben werden. Weitere Kritikpunkte sind, dass nur ein Volumen pro Hochwasser benutzt wird, obwohl es besser wäre, wenn mehrere berücksichtigt werden. Des Weiteren trifft die Annahme, dass die grösste Hochwasserspitze das grösste Volumen hat, nicht immer zu. Ein weiteres Problem wird bei der Anwendung der Kopula gesehen. Es scheint, dass das Ergebnis sich ändert, je nachdem was für eine Kopula benutzt wird. Auch bei der Abtrennung des Basisabflusses sieht die Firma 3 Probleme. Es ist ein sehr komplexer und schwieriger Vorgang, die richtige Menge des Basisabflusses abzuschneiden. Meistens erwischt man zu viel oder zu wenig. Auch bei der Auswahl der Hochwasser sieht die Firma 3 ein mögliches Problem, da die kleineren Hochwasser ebenfalls mit in die Berechnung einbezogen werden. Diese haben allerdings nur einen kleinen Einfluss auf die Hochwasserabschätzung und es wäre deshalb besser, wenn nur die 5 bis 10 grössten Hochwasserereignisse berücksichtigt werden. Damit wird die Berechnung nicht „verfälscht“. Als letzter Punkt wurde die Regionalisierung erwähnt, welche sehr schwierig zu erreichen sein wird. Dies liegt vor allem an der Grösse der Einzugsgebiete und der damit verbundenen Heterogenität innerhalb eines Einzugsgebietes. Ein Vorschlag der Firma 3 wäre, anstatt der Regionalisierung eine Sammlung von Volumen für einzelne Einzugsgebiete herzustellen. Dabei sollen einzelne, charakteristische Einzugsgebiete analysiert und eine Hochwasserabschätzung mit der bivariaten Methode durchgeführt werden. So entsteht eine Ansammlung an Hochwasserabschätzungen für spezifische Einzugsgebiete. Der

Anwender kann dann unter den verschiedenen Einzugsgebieten aussuchen, welches am besten auf sein Einzugsgebiet zutrifft. Ein weiterer Punkt der Firma 3 ist, dass mehr Forschung im Feld stattfinden soll, wo man lernt, auf welche Indizien man achten sollte.

Die Firma 4 steht der bivariaten Methode kritisch gegenüber (Kategorie 2). Sie bekräftigt, dass es eine gute Idee ist, das Hochwasservolumen in die Abschätzung einzubeziehen. Das Modell würde allerdings von der Firma eher nicht angewendet werden, da sie grösstenteils in kleineren Einzugsgebieten arbeiten. In den seltenen Fällen, in denen sie Projekte mit grösseren Einzugsgebieten haben, würde die bivariate Methode allenfalls angewendet werden, wenn sie zeitsparend und demnach einfach anzuwenden ist.

Die Hauptkritik aller vier Firmen ist, dass die bivariate Methode nur für grösseren Einzugsgebiete ist. Viele arbeiten mit kleineren Gebieten und haben deshalb eine eher kleine Anwendungswahrscheinlichkeit angegeben. Allerdings sind sich ebenfalls alle einig, dass eine Berücksichtigung des Hochwasservolumens sinnvoll ist. Wenn durch die bivariate Methode die Unsicherheiten verringert werden und die Methode einfach anzuwenden ist, wird sie in entsprechenden Einzugsgebietsgrössen angewendet werden. Die Kritik der Firma 3 zur Annahme, dass die grösste Hochwasserspitze nicht immer das grösste Volumen habe, stimmt zwar, jedoch wird dieser Punkte bei der bivariaten Methode im Unterschied zu herkömmlichen Methoden berücksichtigt.

## 6. Beantwortung der Forschungsfragen

### 6.1. Erste Forschungsfrage: Welche Hochwasserabschätzungsmethoden werden zur Zeit in den Schweizer Ingenieurbüros verwendet?

In Gebieten mit Abflussmessungen ist die am meisten benutzte Methode die Extremwertstatistik, mit einigem Abstand gefolgt vom Programm HAKESCH, Niederschlags-Abfluss-Modellen und dem Programm HQx\_meso\_CH (Frage 12, Abb. 20). Andere Methoden werden zwar ebenfalls angewendet, jedoch von jeweils weniger als 10 % der Teilnehmer. Die mittlere Zufriedenheit der Teilnehmer mit ihren Methoden liegt bei 7 (wobei 1 = gar nicht zufrieden und 10 = sehr zufrieden bedeutet) (Frage 18, Tab. 6). Die Tabelle 16 zeigt eine Übersicht der Zufriedenheit der Teilnehmer mit den einzelnen benutzten Methoden. Aus den Antworten wurden dabei zwei Gruppen *Zufrieden* und *Unzufrieden* gebildet.

Tab. 16: Übersicht über die Zufriedenheit mit den Methoden für Gebiete mit Abflussmessungen (Zufrieden = Kategorien 8 bis 10, Unzufrieden = Kategorien 1 bis 3) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer. Die Prozentzahl bezieht sich auf die Gesamtzahl der Teilnehmer, welche diese Methode gewählt haben.

	Zufrieden		Unzufrieden	
	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%
<b>Extremwertstatistik</b>	24	27	3	3
<b>Niederschlags-Abfluss-Modell</b>	10	30	1	3
<b>HQx_meso_CH</b>	5	20	1	4
<b>HAKESCH</b>	8	22	0	0
<b>Mit Abflussganglinie</b>	3	23	0	0
<b>Ereignisanalyse</b>	2	67	0	0
<b>Regionalisierung</b>	8	67	0	0
<b>Gefahrenkarte</b>	3	75	0	0
<b>Historische Analyse</b>	4	44	0	0

Dabei zeigt sich, dass prozentual nur ein sehr kleiner Anteil unzufrieden ist mit ihrer verwendeten Methode in Gebieten mit Abflussmessungen. Von den Anwendern, welche Gefahrenkarten, Regionalisierungen oder Ereignisanalysen benutzen, sind circa 70 % zufrieden mit diesen Methoden. Mit der historischen Analyse ist mit 44 % fast die Hälfte aller Benutzer zufrieden. Mit der am häufigsten angewendeten Methode Extremwertstatistik sind 27 % zufrieden und mit den Niederschlags-Abfluss-Modellen 30 %. Die restlichen Methoden wurden zwar nicht von vielen Teilnehmern erwähnt, aber prozentual

gesehen ist der Zufriedenheitsgrad bei diesen signifikant grösser als der Unzufriedenheitsgrad.

In Gebieten ohne Abflussmessungen werden primär die beiden Software-Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH benutzt (Frage 13, Abb. 21). Regionalisierungsmethoden und empirische Formeln werden ebenfalls verwendet, aber deutlich weniger. Die Teilnehmer sind eher zufrieden mit den von ihnen angewendeten Methoden, mit einem durchschnittlichen Zufriedenheitswert von 6 (Frage 17, Tab. 5). Die Tabelle 17 zeigt eine Übersicht der Zufriedenheit mit den einzelnen benutzten Methoden mit derselben Einteilung in *Zufrieden* und *Unzufrieden*. Die am häufigsten benutzten Methoden HAKESCH und HQx\_meso\_CH sind in diesen beiden Gruppen nicht auffallend stark vertreten. Allenfalls kann man HAKESCH etwas hervorheben, mit welchem nur 6% aller Teilnehmer unzufrieden sind. Der Grossteil der Anwender von HAKESCH und HQx\_meso\_CH steht den Programmen aber entweder neutral oder leicht positiv/negativ gegenüber. Ein Modell, welches besonders auffällt, ist die historische Analyse. Rund 43 % aller Teilnehmer, welche diese Methode anwenden, sind zufrieden und kein einziger ist damit unzufrieden.

Tab. 17: Übersicht über die Zufriedenheit mit den Methoden für Gebiete ohne Abflussmessungen (Zufrieden = Kategorien 8 bis 10, Unzufrieden = Kategorien 1 bis 3) mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer. Die Prozentzahl bezieht sich auf die Gesamtzahl der Teilnehmer, welche diese Methode gewählt haben.

	Zufrieden		Unzufrieden	
	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%
<b>HAKESCH</b>	19	15	8	6
<b>HQx_meso_CH</b>	15	15	10	10
<b>Niederschlags-Abfluss-Modelle</b>	4	19	2	10
<b>Empirische Formeln</b>	4	11	3	8
<b>Historische Analyse</b>	3	43	0	0
<b>Regionalisierungen</b>	6	16	3	8

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Gebieten mit und ohne Abflussmessungen die Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH stark vertreten sind. In Gebieten mit Abflussmessungen ist zwar die Extremwertstatistik die mit Abstand am häufigsten benutzte Methode. Trotzdem werden beide Programme benutzt. Methoden, welche nur von wenigen Teilnehmern benutzt werden, haben dafür eher einen höheren prozentualen Zufriedenheitsgrad.

## 6.2. Zweite Forschungsfrage: Wer sind die potentiellen Anwender einer bivariaten Hochwasserabschätzungsmethode?

Potentielle Anwender der neuen bivariaten Methode sind Personen und Unternehmen, welche Hochwasserabschätzungen durchführen. Innerhalb dieser Gruppe sind besonders diejenigen interessant, welche zum einen häufig Hochwasserabschätzungen machen und zum anderen Projekte haben, bei denen das Hochwasservolumen zusätzlich zur Hochwasserspitze eine wichtige Rolle spielt.

Die Frage 3 hat gezeigt, dass vor allem in privaten Unternehmen (vorwiegend in den Arbeitsfeldern Wasserbau, Naturgefahren und Umweltingenieurwesen), kantonalen Unternehmen und beim Bund Hochwasserabschätzungen durchgeführt werden. Die Frage Nummer 10 spezifiziert diese Angabe und geht auf die Häufigkeit der Anwendung von Hochwasserberechnungen ein. Allgemein gilt, dass je häufiger solche Abschätzungen gemacht werden, desto wichtiger diese Personen als potentielle Anwender sind. Deshalb wurden die Teilnehmer, welche Hochwasserabschätzungen nur jährlich machen, in der folgenden Tabelle 18 nicht berücksichtigt. Die Tabelle 18 zeigt die Teilnehmer, die täglich, wöchentlich oder monatlich Abschätzungen durchführen. Gemeindeverwaltungen und Stiftungen wurden ebenfalls weggelassen, da diese zusammen nur 9 % aller Teilnehmer ausmachen. Bei den absoluten Zahlen sind klar die Teilnehmer der privaten Unternehmen am besten vertreten. Analysiert man aber den prozentualen Anteil der Teilnehmer, dann führen vor allem Teilnehmer aus kantonalen Verwaltungen täglich und wöchentlich Hochwasserabschätzungen durch, gefolgt von privaten Unternehmen und dem Bund. Bei monatlicher Anwendung liegen die privaten Unternehmen an erster Stelle. Nimmt man die drei Häufigkeiten *täglich*, *wöchentlich* und *monatlich* zusammen (Total), dann machen prozentual gesehen die Teilnehmer der kantonalen Verwaltungen am meisten Hochwasserberechnungen, gefolgt von privaten Unternehmen und dem Bund.

Tab. 18: Häufigkeit von Hochwasserabschätzungen bei unterschiedlichen Anwendergruppen mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	Täglich		Wöchentlich		Monatlich		Total	
	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%	$\Sigma$	%
<b>Privates Unternehmen</b>	9	6	36	24	63	42	108	73
<b>Kantonale Verwaltung</b>	12	18	22	32	20	29	54	79
<b>Bund</b>	2	10	2	10	5	25	9	45

Auch die durchschnittliche Dauer einer Hochwasserabschätzung spielt eine Rolle bei den potentiellen Anwendern. In Tabelle 19 wurden die kurzen (< 15 Minuten, 15-30 Minuten und 30-60 Minuten) und die langen (> 1 Woche und 1-7 Tage) Berechnungszeiten von Hochwasserabschätzungen nach Zugehörigkeit der Teilnehmer und Arbeitsfeld aufgeschlüsselt. Es wird angenommen, dass bei kurzer Berechnungsdauer die Resultate

etwas weniger zuverlässig und die Qualität etwas schlechter ist als bei langer Berechnungsdauer. Je länger man in die Hochwasserabschätzung investiert, desto mehr Recherche kann gemacht und verschiedene Berechnungsmethoden getestet werden. Die Ergebnisse können miteinander verglichen und die Unsicherheiten analysiert werden, um dann das beste Ergebnis auszuwählen. Bei kurzer Dauer ist anzunehmen, dass Programme mit vorgefertigten Parametergrößen verwendet werden. Je nach dem sind bei diesen Verfahren die Unsicherheiten grösser.

Tab. 19: Aufteilung der langen Berechnungsdauer (> 1 Woche und 1-7 Tage) und kurzen Berechnungsdauer (< 15 Minuten, 15-30 Minuten und 30-60 Minuten) nach Arbeitsort der Teilnehmer und nach Arbeitsfeld, mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	Lange Berechnungsdauer		Kurze Berechnungsdauer	
	Σ	%	Σ	%
<b>Privates Unternehmen</b>	21	14	20	14
<b>Kantonale Verwaltung</b>	1	1	26	38
<b>Bund</b>	5	25	6	30
<b>Naturgefahren</b>	17	15	13	12
<b>Umweltingenieurwesen</b>	13	21	8	13
<b>Hoch- und Tiefbau</b>	6	15	7	17
<b>Wasserbau</b>	17	14	10	8
<b>Natur- und Landschaftsschutz</b>	5	18	3	11

Private Unternehmen und Teilnehmer des Bundes sind bei beiden Kategorien der Berechnungsdauer etwa gleich vertreten. Die Zahlen sind bei der kantonalen Verwaltung am unterschiedlichsten. Hier (Tab. 19) sieht man, dass nur gerade 1 % der Teilnehmer lange für Hochwasserabschätzungen haben. Dafür sind es rund 38 %, die eine durchschnittlich kurze Berechnungsdauer angegeben haben. Ob diese Teilnehmer bereit sind, mit der bivariaten Methode etwas mehr Zeit in ihre Hochwasserabschätzungen zu investieren, ist offen. Ebenfalls ungewiss ist, ob die Teilnehmer, welche mit ihrer Methode eine lange Berechnungsdauer angeben, auf die bivariate Methode zurückgreifen. Vergleicht man die Arbeitsfelder der langen Berechnungsdauer mit denen der kurzen Berechnungsdauer, sieht man keine grossen Unterschiede. Bei der langen Berechnungsdauer ist das Umweltingenieurwesen prozentual am besten vertreten und bei der kurzen Berechnungsdauer der Hoch- und Tiefbau. Die Zahlen aller Arbeitsfelder liegen jedoch nahe beieinander.

Bei der Frage 12 wird nach den benutzten Methoden in Gebieten mit Abflussmessungen gefragt. Die häufigste Antwort ist die Extremwertstatistik und Niederschlags-Abfluss-

Modelle. Die bivariate Methode ist eine spezielle Form der Extremwertstatistik. Alle Teilnehmer, welche bereits Extremwertstatistiken verwenden, sind wohl eher bereit auch die bivariate Methode anzuwenden.

Bezieht man die Forschungsfrage nach den potentiellen Anwender der bivariaten Methode spezifisch auf die Umfrageergebnisse, dann beantwortet die Frage 24 diese Forschungsfrage (Frage 24, Tab. 13). 57 % der 161 Personen, welche diese Frage beantwortet haben, geben eine positive Wahrscheinlichkeit an, die bivariate Methode zu nutzen. Die Tabelle 20 gibt genauere Informationen zu diesen potentiellen Anwendern. 15 % sind noch unentschieden und damit potentielle Anwender. Prozentual gesehen, sind es vor allem die Fachleute des Bundes und die Teilnehmer der privaten Unternehmen, welche eine positive Wahrscheinlichkeit angegeben haben. Aber auch die kantonalen Verwaltungen haben einen grossen positiven Wahrscheinlichkeitsanteil.

Tab. 20: Teilnehmer, welche eine positive Wahrscheinlichkeit für die Verwendung bivariater Modelle angaben (Kategorien 6 bis 10, wobei 10= sehr wahrscheinlich, 1= sehr unwahrscheinlich), aufgeteilt nach Zugehörigkeit der Teilnehmer, mit Anzahl [Σ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	Private Unternehmen		Kantonale Verwaltung		Bund	
	Σ	%	Σ	%	Σ	%
<b>Positive Wahrscheinlichkeit</b>	60	41	24	35	8	40

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die meisten Anwender in privaten Unternehmen und bei den kantonalen Verwaltungen zu finden sind. Die privaten Unternehmen sind zahlenmässig die häufigste Kandidaten, aber prozentual gesehen machen die kantonalen Verwaltungen häufiger Hochwasserabschätzungen. Allerdings haben diese durchschnittlich eher kurze Berechnungszeiten angegeben. Die Fachleute des Bundes sind allgemein nicht zahlreich vertreten in der Umfrage. Von Gemeindeverwaltungen und Stiftungen haben nur wenige Teilnehmer die Umfrage beantwortet und sind demnach kaum potentielle Anwender.

### **6.3. Dritte Forschungsfrage: Entspricht eine bivariate Methode den Bedürfnissen der potentiellen Anwender und bringt sie in der Praxis Verbesserungen?**

Die bivariate Methode ist besonders von Vorteil bei Dimensionierungsarbeiten, wo das Hochwasservolumen eine wichtige Rolle spielt. Laut Frage 7 bestellen nur 10 % von 202 Teilnehmern Dimensionierungsprodukte (Frage 7, Abb. 15). Allerdings kann das Hochwasservolumen auch bei diversen anderen Produkten von Wichtigkeit sein. So zum Bei-

spiel bei Revitalisierungs- und Renaturierungsprojekten, Schadenspotentialeinschätzungen, Wasserbauprojekten oder bei Hochwasserschutzmassnahmen. Der Anwendungszweck der einzelnen Produkte gibt mehr Aufschluss über die Relevanz der bivariaten Methode. Rund 88 % der Teilnehmer gaben Dimensionierungen als Anwendungsbereich an. Tabelle 21 zeigt, welche Produkte demnach im Dimensionierungsbereich angewendet werden.

Tab. 21: Aufteilung des Anwendungszweckes *Dimensionierung* in die verschiedenen Hochwasserprodukte mit Anzahl [ $\Sigma$ ] und Anteil [%] Teilnehmer.

	<b>Dimensionierung</b>	
	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>%</b>
<b>Gefahren- /Intensitätskarte</b>	80	82
<b>Ereignisanalyse</b>	21	91
<b>Risikoanalyse</b>	9	25
<b>Objektschutz</b>	27	87
<b>Hochwasserschutzmassnahmen</b>	78	53
<b>Notfallplanung</b>	39	67
<b>Gutachten/ Beurteilungen</b>	27	49
<b>Modellierungen &amp; Simulationen</b>	10	91
<b>Wasserbauprojekte</b>	21	91
<b>Beratung</b>	11	73
<b>Raumplanung</b>	7	64
<b>Hydrologiestudien</b>	12	86
<b>Schadenpotentialeinschätzung</b>	4	57
<b>Revitalisierungs- &amp; Renaturierungsprojekte</b>	21	70
<b>Haben keine Auftraggeber</b>	9	100
<b>Dimensionierungen</b>	20	100
<b>Hochwasserdaten</b>	7	100
<b>Weiterbildung</b>	1	25
<b>Sofortbeurteilung</b>	3	75
<b>ungültig</b>	1	20

Der Anwendungszweck *Dimensionierung* beinhaltet viele Produkte. Die Zahlen müssen zwar mit Vorsicht aufgenommen werden, da die Teilnehmer, welche *Dimensionierung* angegeben haben, meistens mehrere Produktmöglichkeiten angaben und daher nicht alle zwingend in den Anwendungsbereich *Dimensionierung* gehören. Trotzdem sieht man den allgemeinen Trend, dass bei fast allen Produkten eine grosse prozentuale Mehrheit besteht. Dimensionierungen sind demnach sehr wichtig und die bivariate Methode, welche eine Verbesserung in der Zuverlässigkeit bringt, dementsprechend ein grosses Bedürfnis.

Mit dieser Auswertung allein lässt sich die Relevanz der bivariaten Methode noch nicht genau einschätzen. Zieht man allerdings die Frage 9 hinzu, bei der nach der Wichtigkeit der Variable Hochwasservolumen gefragt wird, kann diese besser beurteilt werden. Das Resultat zeigt, dass das Hochwasservolumen nach der Hochwasserspitze die zweitwichtigste Variable für die Hochwasserabschätzung ist. Vor allem in der Kategorie Dimensionierung und bei den Gefahren- und Intensitätskarten wird das Hochwasservolumen oft berücksichtigt. Auch beim Objektschutz benutzt circa ein Drittel aller Teilnehmer das Volumen. Diese drei Kategorien sind wiederum die am häufigsten benutzten Anwendungszwecke der verschiedenen Hochwasserabschätzungsprodukte, welche oben schon besprochen wurde (Frage 8, Abb. 16). Die bivariate Methode trifft also genau diese Kategorien, welche am häufigsten in der Hochwasserabschätzung benutzt werden. Zusätzlich wird das Hochwasservolumen bei Hochwasserabschätzungen auch am zweithäufigsten (49 %) zur Verfügung gestellt (Frage 14, Abb. 22). Meistens wird dieses Volumen durch gebietstypische Ganglinien, eine Dreiecksganglinie oder mittels einem Niederschlags-Abfluss-Modell berechnet. Dafür müssen allerdings einige Daten schon vorhanden sein. Eine einheitliche Methode mit denselben Voraussetzungen zur Berechnung kann von Vorteil sein.

Wie in der ersten Forschungsfrage beschrieben, sind die am meisten benutzten Methoden die Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH. Die Aussagen zu diesen beiden Programmen sind unterschiedlich. Einige Teilnehmer erwähnten, dass die Programme gut sind, aber viel Zeit in Anspruch nehmen. Andere sagten das Gegenteil und fanden, dass die Programme gut sind, da mit ihnen die Abschätzungen schnell durchgeführt werden können. Das lässt darauf schliessen, dass man bei diesen Programmen beliebig viel Zeit für eine Hochwasserabschätzung investieren kann. Allgemein gilt jedoch je schneller, desto besser für die Anwender, natürlich unter der Voraussetzung, dass die Resultate in einem qualitativ vernünftigen Rahmen bleiben. Dieser Ansatz scheint demnach auch wichtig für die bivariate Methode zu sein. Weitere Kritik an den beiden Software-Programmen wurde ebenfalls in den Experteninterviews ausgesprochen. Die Parameter sind teilweise veraltet und sollten angepasst werden. Zusätzlich braucht es viel Erfahrung, um die Resultate richtig zu interpretieren, da sonst die Unsicherheiten sehr gross sein können. Die Teilnehmer äussern das Bedürfnis nach einer Methode mit aktuellen

Parametern, welche weniger Erfahrung für die Benutzung braucht und eine Alternative zu den Programmen HAKESCH und HQx\_meso\_CH sein kann.

Diese Bedürfnisse werden teilweise bereits jetzt durch die bivariate Methode erfüllt. Die Parameter der bivariaten Methode wurden basierend auf der aktuellen Datengrundlage geschätzt und die Anwendung selbst braucht wenig Erfahrung. Bei der Interpretation der Resultate ist Erfahrung allerdings hilfreich.

Die Schwachstellen werden in Gebieten ohne Abflussmessungen vor allem bei den Parametern beim prozessbasierten Modell und bei einer mangelnden, unvollständigen Dokumentation gesehen (Frage 19, Abb. 25). Die Schwachstellen bei der Auswahl der Extremwertverteilung wurden bei der Entwicklung der neuen bivariaten Methode allerdings in die Überlegungen einbezogen. Auch der Berechnungsaufwand hält sich in Grenzen, da die Methode einfach anzuwenden ist. Im Bezug auf die Unsicherheit bevorzugen die Teilnehmer die Darstellung als Wertebereich, welcher aus dem Hydrographen abgelesen werden kann. Auch häufig benutzt werden Konfidenzintervalle (meistens als 95 % - Konfidenzintervall) und die Darstellung als Wertebereich von einzelnen Hydrographen-Charakteristika.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Methode, bei welcher zusätzlich das Hochwasservolumen berücksichtigt wird, von den meisten Teilnehmern als eine wertvolle Erweiterung eingestuft wird. Dies geht vor allem aus den Kommentaren und aus den Experteninterviews hervor. Die grosse Anzahl an Hochwasserabschätzungsprodukten, welche ihre Anwendung in Dimensionierungsarbeiten haben, zeigt, wie wichtig eine Methode ist, die das Hochwasservolumen mit in die Berechnung einbezieht. Darauf deutet auch die Frage nach der Anwendungswahrscheinlichkeit einer bivariaten Methode, bei der die Mehrheit sich eher für eine Anwendung aussprach. Die bisherigen Schwachstellen bei Methoden in Gebieten ohne Abflussmessungen könnten durch die Benutzung einer bivariaten Methode teilweise ausgemerzt werden.

In der Praxis bringt die neue Methode Verbesserungen, falls die Berechnungszeit kurz und die Handhabung der Methode einfach ist. Ein Leitfaden zur Benutzung einer solchen Methode mit Erläuterungen der einzelnen Parameter wäre auf jeden Fall sehr empfehlenswert. Zudem sollte die Methode flexibel sein, damit die Jährlichkeiten von den Anwendern frei gewählt werden können. Viele Teilnehmer haben jedoch erwähnt, dass sie generell in kleineren Einzugsgebieten arbeiten und für sie deshalb eine Methode für kleinere Einzugsgebiete sinnvoller wäre.

## 7. Fazit

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die gegenwärtig in der Schweiz angewendeten Methoden der Hochwasserabschätzung. Am häufigsten werden die Software-Programme HAKESCH und HQx\_meso\_CH und die Extremwertstatistik angewendet. Viele Teilnehmer der Umfrage waren zufrieden mit diesen Methoden, einige haben aber die beiden Programme kritisiert. Vielfach wird die Erfahrung als Voraussetzung betrachtet, um die richtigen Methoden auszuwählen. Der Aufwand zur Berechnung ist dabei nach eigenem Ermessen zu wählen. Mehr Aufwand bei der Berechnung führt dabei im Normalfall zu besserer Qualität der Resultate und zu einem kleineren Unsicherheitsbereich. Der allgemeine Druck, immer schneller gute Resultate zu erzeugen, zeigt sich ebenfalls in der Umfrage. Weiter zeigt sie, dass das Hochwasservolumen in vielen Bereichen der Hochwasserabschätzung eine wichtige Rolle einnimmt. Oft wird das Volumen als Angabe für das Hochwasserprodukt benötigt. Das Bedürfnis nach einer bivariaten Methode, welche Hochwasserspitze und Hochwasservolumen, sowie deren gegenseitige Abhängigkeit berücksichtigt, ist demnach vorhanden. Die potentiellen Anwender einer solchen bivariaten Methode sind in erster Linie die privaten Unternehmen. Aber auch die kantonalen Verwaltungen und der Bund sind potentielle Anwender, auch wenn diese zahlenmässig geringer vertreten sind. Ob eine bivariate Methode in der Praxis Verbesserungen bringt, ist abzuwarten. Viele Teilnehmer äusserten sich dahin gehend, dass sie mit kleineren Einzugsgebieten arbeiten. Trotzdem kann eine bivariate Methode nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis Verbesserungen bringen, nämlich durch eine einfache und klare Anwendung, eine gute Dokumentation und einen Zeitaufwand, der sich in Grenzen hält.

Die Grenzen der Arbeit zeigen sich in der Frage nach der Repräsentativität. Die Umfrage gibt einen Einblick in die Praxis von Hochwasserabschätzungen in der Schweiz, aber sie ist nur beschränkt repräsentativ, da nicht klar definiert ist, wie gross die Grundgesamtheit ( $N$ ) ist. Die minimal nötige Stichprobengrösse ist demnach nicht vollständig klar und die Frage nach der Repräsentativität bleibt offen. Weitere Einschränkungen gibt es durch die zeitliche Begrenzung der Arbeit. Mit mehr Zeit hätten mehr Fragen definiert und vor allem mehr Experteninterviews durchgeführt werden können. Ob somit die Resultate besser und eindeutiger geworden wären ist schwierig zu beurteilen, aber die Informationen hätten erweitert werden können. Ein weiterer Punkt bei der Umfrage und in den Experteninterviews ist, dass viele Teilnehmer anmerkten, dass ihre Projekte meistens kleinere Einzugsgebiete betreffen. Deshalb wäre eine Methode für kleinere Einzugsgebiete ein Ziel zukünftiger Forschung. Ebenfalls wäre eine Art Leitfaden für Feldbegehungen eine Idee, damit man weiss, auf welche Zeichen und Indizien im Feld man achten muss und wie diese zu interpretieren sind. Damit diese Idee allerdings Sinn macht, sollte es allgemein möglich sein, mehr Zeit und Aufwand in die Hochwasserab-

schätzung zu stecken. Der allgemeine Trend verläuft allerdings hin zu schnelleren Abschätzungen. Forschung in diese Richtung könnte versuchen, Methoden benutzerfreundlicher zu machen, ohne dass die Qualität und die Zuverlässigkeit darunter zu leiden hat.

Im Rückblick hätte man einige Sachen etwas anders angehen können. So hätte man die entscheidende Frage nach der Häufigkeit von Hochwasserabschätzungen in der Umfrage gleich zu Beginn stellen sollen. Dadurch wären die Teilnehmer, welche nie solche durchführen und deshalb auch nicht zur Zielgruppe der Umfrage gehören, von Anfang an ausgeschlossen werden können. Eine Erweiterung der Frage nach der Anwendungswahrscheinlichkeit einer bivariaten Methode wäre ebenfalls interessant gewesen. So hätte direkt gefragt werden können, wieso die Teilnehmer eine bivariate Methode eher anwenden oder eher nicht anwenden würden. Diese Frage wurde hier nur in den Experteninterviews gestellt und es konnten somit nur die Meinungen der vier befragten Firmen eingeholt werden.

## 8. Verdankung

Ich bedanke mich grundsätzlich bei all denjenigen, welche mich während meiner Masterarbeit motiviert und unterstützt haben. Ein spezieller Dank geht an meine Betreuer Dr. Daniel Viviroli, Prof. Dr. Jan Seibert, Manuela Brunner und Dr. Muriel Côte für ihre tatkräftige Unterstützung. Die Umfrage wurde dank ihrem kritischen Hinterfragen und ihrer fachlichen Expertise optimiert. Sie halfen mir immer wieder mit Ideen weiter und konnten mich mit passenden Literaturangaben versorgen.

Insbesondere Manuela Brunner und Dr. Daniel Viviroli halfen mir immer wieder mit konstruktiver Kritik weiter und unterstützten mich auch während des Schreibprozesses durch fortlaufende Korrekturen inhaltlicher und grammatikalischer Art.

Ein besonderer Dank geht ebenfalls an alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen, die sich die Zeit genommen haben, meine Umfrage auszufüllen. Ohne ihre Mithilfe hätte die Arbeit nicht durchgeführt werden können. Speziell danke ich den vier Firmen, mit denen ich ein Experteninterview durchführen durfte. Es entstanden interessante und hilfreiche Gespräche, die mir für diese Arbeit weiterhalfen.

Ebenfalls danken möchte ich meinen Kommilitonen, insbesondere Melanie Graf, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Auch bei meinen Eltern möchte ich mich bedanken, die mich während meines Studiums immer unterstützten. Speziell meinen Vater möchte ich erwähnen, der während zahlreicher Stunden meine Manuskripte gegengelesen hat.



- Liebold, R., Trinczek, R., 2009.** Experteninterview. In: Kühl, S., Strodtholz, P., Taffertshofer, A. (Hrsg.), Handbuch Methoden der Organisationsforschung: Quantitative und Qualitative Methoden. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 32–56.
- Meylan, P., Favre, A.-C., Musy, A., 2011.** Predictive Hydrology: A Frequency Analysis Approach. CRC Press., Boca Raton, 212 S.
- Mieg, H.A., Brunner, B., 2001.** Experteninterview (MUB Workin Paper 6). Professur für Mensch-Umwelt-Beziehungen, ETH Zürich, 21 S.
- Mossig, I., 2012.** Stichproben, Stichprobenauswahlverfahren und Berechnung des minimal erforderlichen Stichprobenumfangs. Beiträge zur Wirtschaftsgeographie und Regionalentwicklung 1, 27 S.
- Naef, F., 2007.** Extreme Hochwasser verstehen - Beispiele aus der Schweiz. In: Extreme Abflussereignisse - Dokumentation - Bedeutung - Bestimmungsmethoden, Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer 206, 59–68.
- Pfister, C., 2009.** Die "Katastrophenlücke" des 20. Jahrhunderts und der Verlust traditionellen Risikobewusstseins. Gaia 18 (3), 239–246.
- PLANAT, 2013.** Sicherheitsniveau für Naturgefahren. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern, 15 S.
- Porst, R., 1998.** Im Vorfeld der Befragung: Planung, Fragebogenentwicklung, Pretesting. Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen, Arbeitsbericht 1998/2, Mannheim, 46 S.
- Prüfer, P., Rexroth, M., 1996.** Verfahren zur Evaluation von Survey-Fragen: Ein Überblick. Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen, Arbeitsbericht 1998/2, Mannheim, 39 S.
- Scherrer, S., 2007.** Hochwasserabschätzung als Synthese von Statistik, Historie und Abflussprozessen. Wiener Mitteilungen, 1–15.  
< [http://scherrer-hydrol.ch/pdf/scherrer/scherrer\\_2007\\_hochwasserabschaetzung\\_als\\_synthese\\_wiener\\_mitt.pdf](http://scherrer-hydrol.ch/pdf/scherrer/scherrer_2007_hochwasserabschaetzung_als_synthese_wiener_mitt.pdf)>, Zugriffsdatum 12.5.2017.
- Scherrer, S., Frauchiger, R., Näf, D., Schelble, G., 2011.** Historische Hochwasser : Weshalb der Blick zurück ein Fortschritt bei Hochwasserabschätzungen ist. Wasser Energie Luft 103 (1), 7–13.
- Schnell, R., Hill, P.B., Esser, E., 2005.** Methoden der empirischen Sozialforschung. Oldenbourg, München, 589 S.
- Spreafico, M., Weingartner, R., Barben, M., Ryser, A., 2003.** Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG Bern, Serie Wasser 4, 118 S.
- Stier, W., 1999.** Empirische Forschungsmethode. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 406 S.
- Umfrage Online.** Enuvo GmbH. <<https://www.umfrageonline.ch/umfrage-erstellen>>. Zugriffsdatum 15.5.17.
- Urden, T.C., 2010.** Statistics in Plain English. Routledge: Taylor & Francis Group, New York, 211 S.
- Vischer, D.L., 2003.** Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz. Von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert. Berichte des BWG Bern, Serie Wasser 5, 208 S.
- Viviroli, D., 2013.** Methoden für die Hochwasserabschätzung. In: Spreafico, M., Viviroli, D. (Hrsg.), Ausgewählte Beiträge zur Abschätzung von Hochwasser und Feststofftransport in der Schweiz - Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 40, 47-50.
- Viviroli, D., Weingartner, R., 2012.** Prozessbasierte Hochwasserabschätzung für mesoskalige Einzugsgebiete. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 39, 127 S.
- Von der Lippe, P., Kladroba, A., 2002.** Repräsentativität von Stichproben. Beitrag zu Marketing 24, 227–238.
- Yue, S., Rasmussen, P., 2002.** Bivariate frequency analysis: Discussion of some useful concepts in hydrological application. Hydrological Processes 16, 2881–2898.

## **10. Anhang**

Die Resultate der Online-Umfrage befinden sich in der Rohfassung auf der beigelegten CD. Antworten, die auf die Teilnehmer rückschliessen lassen würden, mussten aus Gründen der Anonymität weggelassen werden. Dasselbe gilt für die Experteninterviews, deren Mitschrift aus diesem Grund nicht veröffentlicht wird.

**Persönliche Erklärung:**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.